



TUGAS AKHIR - MO141326

**ANALISA RESIKO PADA KEBOCORAN  
PIPA BAWAH LAUT DENGAN METODE  
*HYBRID RISK ANALYSIS***

BASSAM MUHAMMAD DREHEM

NRP. 4313 100 144

Dosen Pembimbing :

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D.

Agro Wisudawan, S.T., M.T.

DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

Surabaya 60111

2017



**FINAL PROJECT – MO141326**

**RISK ANALYSIS ON LEAKAGE OF PIPELINES  
WITH HYBRID RISK ANALYSIS METHOD**

**BASSAM MUHAMMAD DREHEM**

**NRP. 4313100144**

**Supervisors:**

**Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D**

**Agro Wisudawan, S.T, M.T**

**DEPARTEMENT OF OCEAN ENGINEERING**

**Marine Technology Faculty**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2017**

**Analisa Resiko pada Kebocoran Pipa Bawah Laut dengan Metode *Hybrid Risk Analysis***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kelautan**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Bassam Muhammad Drehem**

**NRP. 4313100144**

Disetujui Oleh:

1. Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D. (Pembimbing 1)

2. Agro Wisudawan S.T., M.T. (Pembimbing 2)

3. Silvianita, S.T., M.Sc., Ph.D. (Penguji 1)



**SURABAYA, AGUSTUS 2017**



## ABSTRAK

### ANALISA RESIKO PADA KEBOCORAN PIPA BAWAH LAUT DENGAN METODE *HYBRID RISK ANALYSIS*

Nama Mahasiswa : Bassam Muhammad Drehem

NRP : 4313100144

Departemen : Teknik Kelautan FTK-ITS

Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

Agro Wisudawan, S.T, M.T

Dalam tugas akhir ini telah dilakukan kajian mengenai analisa resiko pada kebocoran pipa bawah laut dengan menggunakan metode *hybrid risk analysis*. Kajian diawali dengan menentukan ruang lingkup analisa menggunakan *fault tree analysis* yang kemudian bisa ditentukan *main event* dari kegagalan kebocoran pipa bawah laut hingga menuju *basic event*-nya. Setelah menentukan ruang lingkup analisa maka dilanjutkan dengan menghitung besar frekuensi tiap kejadian dengan menggunakan *quantitative method*. Pada perhitungan ini diketahui besar frekuensi *basic event* melalui data dari *paper scientific programming* dan *scientific research* kemudian dihitung frekuensi akibat dari kejadian tersebut menggunakan *Boolean Equation* hingga didapatkan besar frekuensi dari kegagalan akibat kebocoran pipa bawah laut sebesar 0.0013. Setelah mengetahui berapa besar probabilitas kegagalan, dilanjutkan dengan menentukan berapa besar dampak atau konsekuensi dari kegagalan tersebut. Konsekuensi kegagalan ditentukan berdasarkan dampaknya terhadap keselamatan, lingkungan, dan juga bisnis. Pada penentuan besar dampak dengan *qualitative method* digunakan kuisisioner wawancara ke beberapa responden. Setelah mendapatkan hasil wawancara kuisisioner maka dihitung *mean* dari hasil kuisisioner untuk menentukan berapa besar dampak dari kegagalan tersebut berdasarkan keselamatan, lingkungan, dan bisnis. Setelah mengetahui berapa besar probabilitas dan konsekuensi dari kegagalan tersebut, maka tentukan posisi zona resiko pada matriks resiko yang mengacu pada DNV RP-G101. Setelah mengetahui posisi zona resiko, maka bisa ditentukan bagaimana cara mengendalikan resiko berdasarkan pendekatan sebab-akibat.

*Kata Kunci – Pipa Bawah Laut , Hybrid Risk Analysis, Fault Tree Analysis, Probabilitas, Konsekuensi, Matriks Resiko.*

## ABSTRACT

### RISK ANALYSIS ON LEAKAGE FAILURE OF PIPELINES WITH HYBRID RISK ANALYSIS METHOD

*Name of Student* : Bassam Muhammad Drehem

*REG* : 4313100144

*Department* : *Department of Ocean Engineering, Marine Technology Faculty, ITS*

*Supervisors* : Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

Agro Wisudawan, S.T, M.T

In this final project has been conducted a study on risk analysis on subsea pipeline leakage by using hybrid risk analysis method. The study begins by determining the scope of the analysis using fault tree analysis which can be determined the main event of the leakage failure of subsea pipeline until the basic event. After determining the scope of the analysis then proceeded to calculate the frequency of each event using the quantitative method. In this calculation is known the frequency of basic event through data from scientific paper programming and scientific research and then calculated the frequency result of top event using Boolean Equation until we get the frequency of failure due to leakage pipelines for 0.0141213. After knowing how big the probability of failure, followed by determining how much impact or consequence of the failure. The consequences of failure are determined based on their impact on safety, environment, and business. In the determination of the impact with the qualitative method using questionnaires interviews to some respondents. After obtaining the result of questionnaire interview then calculated the mean of the questionnaire result to determine how big impact of the failure is based on safety, environment, and business. After knowing how big the probability and consequences of the failure, then determine the position of the risk zone on the risk matrix that refers to DNV RP-G101. After knowing the position of the risk zone, it can be determined how to control risk based on cause-effect.

*Keywords* : *pipelines, hybrid risk analysis, probability, consequence, quantitatives, qualitatives, risk matrix*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah puji syukur penulis sampaikan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Sholawat serta salam juga penulis haturkan kepada junjungan seluruh umat manusia Rasulullah Muhammad SAW.

Tugas Akhir ini berjudul **“ANALISA RESIKO PADA KEBOCORAN PIPA BAWAH LAUT DENGAN METODE *HYBRID RISK ANALYSIS*”**. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini membahas tentang analisa resiko pada kejadian kebocoran pipa bawah laut dengan menggunakan metode *hybrid risk analysis*.

Saya menyadari bahwa dalam pengerjaan dan penulisan penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan sehingga saya sangat mengharapkan kritik dan saran dari pihak lain. Akhir kata saya berharap penelitian ini dapat bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang rekayasa kelautan serta bermanfaat bagi pembaca pada umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran dalam pengerjaan Tugas Akhir hingga selesainya Tugas Akhir ini . Saya ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ayah dan Ibu yang senantiasa memberikan doa dan memberikan dukungan kepada saya. Tugas Akhir ini saya persembahkan khusus untuk kedua orang tua saya.
2. Bapak Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D selaku dosen pembimbing I dan Bapak Agro Wisudawan S,T. M,T selaku dosen pembimbing II dalam Tugas Akhir yang selalu mendampingi dan memberikan bimbingan kepada saya dalam proses pengerjaan proposal hingga analisis Tugas Akhir ini. Terima kasih atas bimbingan, ilmu serta dukungan kepada saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Bapak Prof. Ir. Mukhtasor, M.Eng, Ph.D selaku dosen wali saya yang senantiasa membantu saya dan membimbing saya selama proses perkuliahan di Jurusan Teknik Kelautan.
4. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto ST. MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS Surabaya periode 2015-2019.
5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Kelautan ITS yang telah memberikan ilmu, bantuan dan fasilitas kepada saya selama menjalani perkuliahan.
6. Angkatan saya, VALTAMERI L31-P53 yang telah selalu membantu saya selama masa perkuliahan saya di Teknik Kelautan FTK-ITS.

Serta semua pihak yang telah membantu namun tidak bisa saya sebutkan satu-persatu. Terima kasih atas bantuan, motivasi dan doanya sehingga saya mampu maju hingga sejauh ini dan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini. Semoga Allah melimpahkan rahmat-Nya kepada kita semua. Amin.





## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxi
I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Laporan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Dasar Teori.....	5
2.2.1 Kebocoran Pipa Bawah Laut.....	5
2.2.2 Konstruksi Pipa Bawah Laut.....	7
2.2.3 <i>Hybrid Risk Analysis</i> .....	10
2.2.4 <i>Fault Tree Analysis</i> .....	12
2.2.5 Matriks Resiko.....	17
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	21
3.1 Diagram Alir dan Prosedur Penelitian.....	21
3.2 Pengumpulan Data.....	24
IV. PEMBAHASAN.....	29

4.1	<i>Fault Tree Analysis</i> .....	29
4.2	Menentukan Probabilitas Kejadian dengan Quantitatives Method..	39
4.3	Menentukan Konsekuensi Kejadian dengan Qualitatives Method...	44
4.4	Menentukan Posisi Resiko pada Matriks Resiko.....	48
4.5	Pengendalian Resiko.....	53
V.	KESIMPULAN DAN SARAN.....	59
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran.....	60
	DAFTAR PUSTAKA.....	61
	LAMPIRAN.....	63

## DAFTAR GAMBAR

<a href="#">Gambar 2. 1 Kebocoran Pipa Bawah Laut.....</a>	7
Gambar 2.2 Inspeksi Pipa Bawah Laut.....	8
Gambar 2.3 Pengelasan Pipa Bawah Laut.....	9
Gambar 2.4 <i>Non-Destructive Test</i> .....	9
Gambar 2.5 <i>Coating</i> pada Pipa Bawah Laut.....	10
Gambar 2.6 Proteksi Katodik pada Pipa Bawah Laut.....	11
Gambar 2.7 Contoh <i>Fault Tree Analysis</i> .....	17
Gambar 2.8 Contoh Matriks Resiko.....	19
Gambar 4.1 FTA Kegagalan yang terjadi saat kebocoran pipa bawah laut..	29
Gambar 4.2 Sub-FTA <i>Main Event</i> Kegagalan Faktor Eksternal.....	30
Gambar 4.3 Sub-FTA <i>Main Event</i> Kegagalan Faktor Internal.....	31
Gambar 4.4 Indikator Penentuan Konsekuensi.....	42
Gambar 4.5 Matriks Resiko DNV RP-G101 .....	47



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Istilah dalam metode <i>Fault Tree Analysis</i> .....	16
Tabel 2.2 Simbol-simbol dalam <i>Fault Tree Analysis</i> .....	17
Tabel 2.3 Deskripsi Peluang Kegagalan (DNV RP-G101).....	20
Tabel 2.4 Urutan konsekuensi kegagalan secara kualitatif.....	20
Tabel 3.1 Data <i>Pipeline</i> PGN.....	24
Tabel 3.2 Data Frekuensi Kejadian.....	25
Tabel 3.3 Data Lingkungan.....	27
Tabel 4.1 <i>Top Event</i> dan <i>Middle Event</i> dari <i>Fault Tree Analysis</i> .....	32
Tabel 4.2 <i>Basic Event</i> dari <i>Fault Tree Analysis</i> .....	32
Tabel 4.3 <i>Bottom Event</i> .....	33
Tabel 4.4 <i>Intermediate Event (III)</i> .....	34
Tabel 4.5 <i>Intermediate Event (II)</i> .....	34
Tabel 4.6 <i>Intermediate Event (I)</i> .....	35
Tabel 4.7 <i>Main Event</i> .....	35
Tabel 4.8 <i>Top Event</i> .....	35
Tabel 4.9 <i>Minimal Cut-Sets Main Event</i> Faktor Eksternal.....	37
Tabel 4.10 <i>Minimal Cut-Sets Main Event</i> Faktor Internal.....	37
Tabel 4.11 <i>Minimal Cut-Sets Top Event</i> Kebocoran Pipa Bawah Laut.....	38
Tabel 4.12 Frekuensi <i>Intermediate Event (III)</i> .....	38
Tabel 4.13 Frekuensi <i>Intermediate Event (II)</i> .....	39
Tabel 4.14 Frekuensi <i>Intermediate Event (I)</i> .....	39
Tabel 4.15 Frekuensi <i>Main Event</i> .....	40
Tabel 4.16 Frekuensi <i>Top Event</i> .....	41
Tabel 4.17 Hasil Kuisisioner <i>Main Event</i> Kegagalan Faktor Eksternal.....	45
Tabel 4.18 Hasil Kuisisioner <i>Main Event</i> Kegagalan Faktor Internal.....	45
Tabel 4.19 Hasil Kuisisioner <i>Top Event</i> Kebocoran Pipa Bawah Laut.....	46
Tabel 4.20 Hasil Konsekuensi Kejadian.....	46
Tabel 4.21 Probabilitas dan Konsekuensi Kejadian.....	47
Tabel 4.22 Posisi Resiko Kegagalan Faktor Eksternal.....	48

Tabel 4.23 Posisi Resiko Kegagalan Faktor Internal.....	50
Tabel 4.24 Posisi Resiko Kebocoran Pipa Bawah Laut.....	51
Tabel 4.25 Resiko yang perlu dikendalikan.....	53
Tabel 4.26 Sebab-Akibat Kegagalan Faktor Eksternal.....	54
Tabel 4.27 Sebab-Akibat Kegagalan Faktor Internal.....	55
Tabel 4.28 Sebab-Akibat Kebocoran Pipa Bawah Laut.....	56

## **DAFTAR LAMPIRAN**

LAMPIRAN A : *FAULT TREE ANALYSIS*

LAMPIRAN B : MENGHITUNG FREKUENSI

LAMPIRAN C : MENGHITUNG KONSEKUENSI

LAMPIRAN D : MENENTUKAN POSISI RESIKO

LAMPIRAN E : HASIL KUISIONER



(Halaman ini sengaja di kosongkan.)

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pipa merupakan suatu teknologi dalam mengalirkan fluida seperti minyak, gas, atau air dalam jumlah besar dan jarak yang jauh atau daerah di lepas pantai. Karena medan yang dilalui oleh saluran pipa sangat beragam, yakni mulai dari dalam laut, dataran rendah, dan di dalam tanah.

Berdasarkan pada *standar DNV OS F101 Submarine Pipeline Systems 2000*, pembebanan pada pipa dibagi menjadi 2, yaitu beban fungsional dan beban lingkungan. Dimana, beban-beban tersebut akan ditentukan terlebih dahulu sebelum proses desain dimulai.

Beban fungsional merupakan beban yang berasal dari keberadaan fisik pipa. Hal tersebut sangat menentukan integritas dari sistem pipa, baik selama proses instalasi, hidrotetes, maupun saat operasional. Yang termasuk beban fungsional adalah sebagai berikut:

- Gaya berat

Yang termasuk ke dalam beban ini adalah berat pipa secara keseluruhan, berat isi yang ditransportasikan baik pada saat kondisi operasi dan hidrotetes, serta gaya angkat.

- Tekanan

Beban tekanan yang dimaksud adalah tekanan yang terjadi pada pipa yang terdiri dari tekanan internal, tekanan eksternal, dan tekanan tanah (untuk pipa yang dikubur).

- *Thermal expansion dan contraction*

Beban ini biasanya diakibatkan oleh temperatur dan isi yang ditransportasikan dalam pipa.

- *Pre-stressing*

Beban yang termasuk ke dalam beban ini biasanya adalah tekanan yang diakibatkan oleh aktivitas pada saat instalasi pipa.

Beban lingkungan adalah beban yang bekerja pada pipa yang diakibatkan oleh lingkungan sekitar dan bukan merupakan beban fungsional atau beban accidental. Beban lingkungan yang bekerja

pada pipa biasanya terdiri atas beban angin, gelombang, arus, beban hidrodinamik, dan fenomena lingkungan lainnya.

Selain beban fungsional dan lingkungan, dalam desain pipa juga dikenal adanya beban *accidental*, yaitu beban yang diakibatkan oleh keadaan yang tidak direncanakan. Yang termasuk beban ini adalah *vessel impact*, benda jatuh, pergerakan tanah, gesekan jangkar, dan lain-lain.

Pada industri *offshore pipeline* salah satu tantangan yang dihadapi berkaitan dengan resiko-resiko yang ada dari ancaman dari tiap aset yang terjadi akibat permasalahan teknis hingga *human error*. Pada kebocoran pipa bawah laut, banyak sekali faktor yang menyebabkan terjadinya resiko.

Pada kebocoran pipa bawah laut tentunya banyak sekali proses yang harus dilewati sehingga pipa bisa dikatakan aman untuk proses instalasinya. Berbagai macam proses tersebut tentunya memiliki banyak sekali faktor yang perlu diperhatikan agar pada proses konstruksinya berjalan aman sehingga proses pembuatan pipa tidak mengalami kesalahan fatal yang menyebabkan dampak yang berbahaya terhadap keselamatan, lingkungan, serta bisnis.

Secara sederhana, analisis resiko atau *risk analysis* dapat diartikan sebagai sebuah prosedur untuk mengenali suatu ancaman dan kerentanan, kemudian menganalisanya untuk memastikan hasil pembongkaran, dan menyoroti bagaimana dampak-dampak yang ditimbulkan dapat dihilangkan atau dikurangi. Analisis resiko juga dipahami sebagai sebuah proses untuk menentukan pengamanan macam apa yang cocok atau layak untuk sebuah sistem atau lingkungan (ISO 1799, “*An Introduction To Risk Analysis*”, 2012).

Pada tugas akhir ini, diharapkan dapat menganalisa resiko yang terjadi pada kebocoran pipa bawah laut dengan menggunakan *hybrid risk analysis* dan juga memberikan rekomendasi dari resiko tersebut dengan cara mencegah atau dengan meredakan resiko tersebut.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Rumusan Masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dimana posisi zona resiko pada matriks yang terjadi pada saat kebocoran pipa bawah laut ?
2. Bagaimana cara pengendalian resiko saat kebocoran pipa bawah laut ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui posisi zona resiko pada matriks yang terjadi pada saat kebocoran pipa bawah laut.
2. Mengetahui cara pengendalian resiko saat kebocoran pipa bawah laut.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan informasi mengenai posisi zona resiko pada matriks saat kebocoran pipa bawah laut.
2. Memberikan informasi mengenai cara pengendalian resiko saat kebocoran pipa bawah laut.

## **1.5 Batasan Masalah**

Batasan Masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak memperhatikan *cost control* dan estimasi waktu.
2. Probabilitas diasumsikan konstan.
2. Metode analisa resiko *Hybrid* untuk probabilitas menggunakan *quantitative method* dan konsekuensi lebih condong ke *qualitative method*.
3. Penentuan ruang lingkup menggunakan metode *fault tree analysis*.

## **1.6 Sistematika Laporan**

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang penulisan tugas akhir permasalahan, yang akan dibahas, tujuan yang ingin dicapai,

manfaat yang dapat diambil serta batasan yang diberlakukan dalam penyusunan tugas akhir

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisi tinjauan pustaka dan dasar teori, yaitu hal-hal yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Persamaan-persamaan yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini diuraikan dalam bab ini.

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai langkah pengerjaan yang dilakukan, yaitu meliputi studi literatur, pengumpulan data, penentuan ruang lingkup analisa, menentukan probabilitas dengan metode kuantitatif, menentukan konsekuensi menggunakan kuisioner wawancara, menentukan posisi zona resiko pada matriks resiko, dan pengendalian resikonya.

## BAB IV PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas tentang bagaimana kita menentukan ruang lingkup analisa menggunakan *fault tree analysis* yang kemudian dapat menentukan *basic event* hingga *top event* dari suatu kejadian. Setelah menentukan ruang lingkup analisa dilanjutkan dengan menentukan probabilitas kejadian menggunakan *software TopEventFTA*. Setelah menentukan probabilitas maka ditentukan berapa besar dampak konsekuensi ditinjau dari keselamatan, lingkungan, hingga bisnis. Setelah mengetahui berapa besar probabilitas dan resiko maka dapat ditentukan letak posisi zona resiko pada matriks resiko. Setelah mengetahui dimana letak zona posisi resiko maka dapat diketahui cara pengendalian resikonya dengan pendekatan sebab akibat dari suatu kejadian.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang didapat dari keseluruhan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan. Selanjutnya diberikan saran sebagai bahan pertimbangan tindak lanjut terhadap penelitian dengan permasalahan terkait.

## II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Pendistribusian minyak dan gas yang berada di offshore dari satu fasilitas ke fasilitas lain, kita kenal saat ini dengan dua cara yaitu pendistribusian dengan pipa bawah laut (*pipeline*) atau secara curah (misal: kapal tanker). Pendistribusian dengan *pipeline* relatif aman dibandingkan dengan pendistribusian secara curah (Soegiono, 2004). Dengan tingkat keamanan yang baik selama penginstalan akan memberikan investasi jangka panjang yang menguntungkan sesuai dengan umur operasi yang telah ditentukan. (Gazali, 2009)

Perancangan pipa bawah laut dewasa ini memiliki tantangan yang semakin kompleks terkait dengan pengoperasiannya yang menggunakan tekanan dan temperatur yang tinggi. Ada beberapa aspek teknis yang harus diperhitungkan untuk merancang pipa bawah laut. Karena banyaknya aspek tersebut, manajemen resiko sudah sejak lama menjadi opsi awal dalam perencanaan pipa bawah laut. (Hasem, 2009).

Menurut buku "*a Method for Quantitative Risk Analysis*" menjelaskan bahwa analisa resiko kuantitatif merupakan suatu metode analisa resiko yang mengenali pengendalian pengamanan apa dan bagaimana yang seharusnya diterapkan dan serta besaran biaya untuk menerapkannya. Sedangkan analisa resiko kualitatif digunakan untuk meningkatkan kesadaran akan masalah keamanan sistem keteknikan dan sikap dari sistem yang sedang dianalisa tersebut. (Meritt, 1998)

*Aljabar Boolean* merupakan aljabar yang dapat digunakan untuk melakukan penyederhanaan atau menguraikan rangkaian logika yang rumit dan kompleks menjadi rangkaian yang lebih sederhana (widjanarka, 2006)

### 2.2 Dasar Teori

#### 2.2.1 Kebocoran Pipa Bawah Laut

Pipa adalah peralatan yang dipakai untuk mengalirkan fluida untuk berbagai keperluan. Dalam dunia rumah tangga, kita mengenal pipa yang dapat mengalirkan air bersih untuk kebutuhan sehari-hari maupun gas

yang bisa dipakai untuk kebutuhan dapur atau pemanas air dan ruangan. Dikarenakan fungsinya yang mengalirkan fluida, pipa cenderung memiliki bentuk fisik yang sangat panjang dan bahkan dalam beberapa kasus cukup lentur karena terlalu panjang. Hal ini membuat pipa juga rentan untuk mengalami kebocoran. Jika terjadi kebocoran, fluida yang dialirkan di dalam pipa bisa saja merembes keluar atau bahkan bisa jadi zat lain akan masuk ke dalam pipa yang mempengaruhi kemurnian fluida.

Kebocoran pipa bisa disebabkan oleh berbagai macam sebab. Kesalahan pemasangan atau adanya cacat bawaan pada fisik pipa adalah penyebab yang paling umum mengapa pipa bisa bocor, namun, beberapa sebab lain khususnya karena penggunaan dalam jangka waktu yang lama tanpa perawatan yang benar juga dapat menyebabkan pipa bocor. Kebocoran pipa jelas dapat mempengaruhi tekanan dari aliran fluida di dalam. Beberapa jenis pipa mengalami kebocoran karena faktor internal dari pipa itu sendiri baik dari material, pengelasan pipa, maupun karena tidak sempurnanya alat bantu pipa. Untuk faktor eksternal tentunya bisa karena adanya korosi, kesalahan manusia, bahkan hingga bencana alam. Hal ini berarti mengharuskan dalam proses pembuatannya harus mengecek kondisi pipa khususnya di area dalam yang banyak dialiri oleh fluida sehingga aliran fluida tidak akan terhambat dan tekanan yang dapat diterima oleh pipa akan tetap stabil sehingga pipa tidak mudah rusak. Berikut pada **gambar 2.1** contoh kebocoran pipa bawah laut.



**Gambar 2.1** Kebocoran Pipa Bawah Laut (Tempo, 2015)

### 2.2.2 Konstruksi Pipa Bawah Laut

Pada konstruksi pipa bawah laut, ada beberapa proses yang akan dilakukan hingga pipa bawah laut dinyatakan bisa di instalasi ke bawah laut. Beberapa proses konstruksi pipa bawah laut pada dasarnya sebagai berikut;

#### a. Inspeksi Pipa Bawah Laut

Pada proses ini pipa batangan dari pabrik akan di cek dan di data mengenai *record* pipa itu sendiri yang kemudian akan diberi identitas dari pipa-pipa batangan tersebut yang mulai dari *pipe number*, *heat number*, dan sebagainya. Seperti pada **gambar 2.2** pipa akan diberi nomer supaya mudah dalam pelacakannya.



**Gambar 2.2** Inspeksi Pipa Bawah Laut (Bagus, 2015)

#### b. Pengelasan Pipa Bawah Laut

Pengelasan pipa bawah laut digunakan untuk menyambung satu batang pipa dengan batang pipa yang lain. Pada proses ini pipa akan di las untuk disambung dengan menggunakan alat berat dan dibutuhkan tenaga ahli dalam pengerjaannya. Seperti pada **gambar 2.3** pengelasan pipa dibantu dengan alat pengelasan otomatis.





**Gambar 2.3** Pengelasan Pipa Bawah Laut (Bagus, 2015)

c. *NDT Test*

*NDT Test* atau singkatan dari *Non-Destructive Test* adalah pengetesan pipa bawah laut yang sudah di sambung dengan pengelasan. Pada proses ini pipa akan di tes untuk mengetahui adakah kecacatan dalam proses pengelasan. *NDT* dapat dilakukan dengan menembak sinar-X atau sinar gamma. Dari hasil tersebut akan diketahui letak dimana adanya kecacatan las. Seperti pada **gambar 2.4** digunakan alat untuk pengecekan adanya kecacatan dalam pipa. Jika kecacatan sudah diperbaiki maka *NDT* harus dilakukan kembali hingga lolos dari tes tersebut.



**Gambar 2.4** *Non-Destructive Test* (Bagus, 2015)

d. *Coating*

Pada struktur pipa bawah laut, *coating* atau lapisan pelindung digunakan sebagai pelindung pertama untuk mencegah terjadinya korosi. *Coating* pada pipa bawah laut digunakan untuk melindungi pipa bawah laut dari lingkungannya agar secara fisik dapat lebih efektif memisahkan baja pipa dengan lingkungannya yang berpotensi menimbulkan korosi. *Coating* bisa dengan menggunakan cat atau dengan menggunakan bahan *concrete* seperti pada **gambar 2.5**.



**Gambar 2.5** Coating pada Pipa Bawah Laut (Bagus, 2015)

e. Proteksi Katodik

Proteksi katodik seperti pada **gambar 2.6** merupakan suatu metode perlindungan logam dari korosi dengan cara mengorbankan anoda. Pada dasarnya korosi terjadi karena adanya reaksi kimia. Proteksi katodik juga perlu untuk di cek secara berkala apakah anoda masih mampu untuk menahan laju korosi.



**Gambar 2.6** Proteksi Katodik pada Pipa Bawah Laut (Hudi, 2011)

### **2.2.3 Hybrid Risk Analysis**

James W. Meritt, dalam *a Method for Quantitative Risk Analysis*, menjelaskan bahwa Analisis Resiko Kuantitatif merupakan satu metode analisis resiko yang mengenali pengendalian pengamanan apa dan bagaimana yang seharusnya diterapkan serta besaran biaya untuk menerapkannya. Sedangkan Analisis Resiko Kualitatif digunakan untuk meningkatkan kesadaran atas masalah keamanan sistem informasi dan sikap dari sistem yang sedang dianalisis tersebut.

Meritt menerangkan bahwa dua metode tersebut dapat berkombinasi menjadi satu, yang kemudian dikenal sebagai metode hibrida atau *Hybrid method*. Metode Hibrida merupakan sebuah kombinasi dari dua metode analisis resiko kuantitatif dan kualitatif, dan dapat digunakan untuk menerapkan komponen-komponen yang memanfaatkan informasi yang tersedia sekaligus memperkecil matriks yang terkumpul dan dihitung.

Menurut J. W. Meritt, terdapat beberapa hal atau langkah yang perlu diperhatikan dalam menerapkan metode analisis resiko secara umum, yaitu sebagai berikut:

- a. menentukan ruang lingkup (*scope statement*). Hal ini harus dipercayai oleh semua kalangan pihak yang menaruh perhatian pada masalah. Dalam menentukan ruang lingkup ini, ada tiga hal yang harus diperhatikan, yaitu menentukan secara tepat apa yang harus dievaluasi, mengemukakan apa jenis analisis resiko yang akan digunakan, dan mengajukan hasil yang diharapkan.
- b. Menetapkan aset (*asset pricing*). Pada langkah kedua ini, semua sistem informasi ditentukan secara spesifik ke dalam ruang lingkup yang telah dirancang, kemudian ditaksir harganya.
- c. *Risks and Threats*. Resiko (*risk*) adalah sesuatu yang dapat menyebabkan kerugian atau mengurangi nilai kegunaan operasional sistem. Sedangkan ancaman (*threats*) adalah segala sesuatu yang harus dipertimbangkan karena kemungkinannya yang dapat terjadi secara bebas di luar sistem sehingga memunculkan satu resiko.
- d. Menentukan koefisien dampak. Semua aset memiliki kerentanan yang tidak sama terhadap suatu resiko. Oleh sebab itu perlu dicermati dan diteliti sejauh mana sebuah aset dikenali sebagai hal yang rentan terhadap sesuatu, serta perbandingannya dengan aset yang justru kebal sama sekali.
- e. *Single loss expectancy* atau ekspektasi kerugian tunggal. Pada poin ini, Meritt menjelaskan bahwa aset-aset yang berbeda akan menanggapi secara berbeda pula ancaman-ancaman yang diketahui.
- f. Group evaluation atau evaluasi kelompok, yaitu langkah lanjutan yang melibatkan sebuah kelompok pertemuan yang terdiri dari para pemangku kepentingan terhadap sistem yang dianalisis (diteliti). Pertemuan ini harus terdiri dari individu yang memiliki pengetahuan tentang komponen-komponen yang beragam tersebut, tentang ancaman dan kerentanan dari sistem serta pengelolaan dan tanggung jawab operasi untuk memberikan

bantuan dalam penentuan secara keseluruhan. Pada langkah ini lah biasanya metode hibrida dalam analisis resiko dilakukan.

- g. Melakukan kalkulasi (penghitungan) dan analisis. Terdapat dua macam analisis. Pertama, *across asset*, yaitu analisis yang bertujuan untuk menunjukkan aset-aset tertentu yang perlu mendapat perlindungan paling utama. Kedua, *across risk*, yaitu analisis yang bertujuan untuk menunjukkan ancaman apa dan bagaimana yang paling harus dijaga.
- h. *Controls* atau pengendalian, yaitu segala hal yang kemudian diterapkan untuk mencegah, mendeteksi, dan meredakan ancaman serta memperbaiki sistem.
- i. Melakukan analisis terhadap *control* atau pengendalian. Ada dua metode yang dapat dilakukan dalam menganalisis aksi kontrol ini, yaitu *cost and benefit ratio* dan *risk or control*.

Pada dasarnya metode analisa ini digunakan nantinya dalam penentuan lokasi matriks resiko. Pada kasus kebocoran pipa bawah laut, DNV RP-G101 adalah codes yang paling sesuai digunakan untuk pendekatan metode dan matriks tersebut.

#### **2.2.4 Fault Tree Analysis**

Untuk menentukan ruang lingkup dari analisa resiko pada kebocoran pipa bawah laut tersebut bisa menggunakan banyak metode. Beberapa metode yang bisa digunakan yaitu menggunakan metode *fault tree analysis*, *fishbone*, atau dengan menggunakan *event tree analysis*. Pada tugas akhir ini menggunakan metode *Fault Tree Analysis* dalam menentukan sebab-akibat dari pada ruang lingkup analisa. *Fault tree analysis* (FTA) adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengidentifikasi kejadian yang berperan terhadap terjadinya kegagalan. Metode ini dilakukan dengan pendekatan yang bersifat *top-down*, yang diawali dengan asumsi kegagalan atau kerugian dari kejadian puncak (*top event*) kemudian merinci ke sebab-sebab suatu top event sampai pada

suatu kegagalan dasar (*root cause*) untuk mengidentifikasi terjadinya suatu kegagalan dari berbagai cara, baik dari faktor fisik maupun manusia, yang dapat mengarah pada penyebab dari terjadinya kegagalan/kesalahan tersebut.

Menurut Priyanti (2000), terdapat 5 tahapan untuk melakukan analisa dengan *Fault Tree Analysis* (FTA), yaitu sebagai berikut:

1. Mendefinisikan masalah dan kondisi batas dari suatu sistem yang ditinjau
2. Penggambaran model grafis *Fault Tree*
3. Mencari *minimal cut set* dari analisa *Fault Tree*
4. Melakukan analisa kualitatif dari *Fault Tree*
5. Melakukan analisa kuantitatif dari *Fault Tree*

Langkah pertama diatas bertujuan untuk mencari *top event* yang merupakan definisi dari kegagalan suatu sistem, ditentukan terlebih dahulu dalam menentukan sebuah model grafis FTA.

Tahapan kedua membuat model grafis *Fault Tree*. Aturan dalam membuat FTA adalah:

1. Mendeskripsikan *fault event* (kejadian gagal)
2. Mengevaluasi *fault event* (kejadian gagal)
3. Melengkapi semua gerbang logika (*logical gate*)

Model grafis FTA memuat beberapa simbol, yaitu simbol kejadian, simbol gerbang dan simbol transfer. Simbol kejadian adalah simbol yang berisi kejadian pada sistem yang dapat digambarkan dengan bentuk lingkaran, persegi dan yang lainnya, yang mempunyai arti masing-masing. Contoh dari simbol kejadian adalah *intermediate event* dan *basic event*. Sedangkan untuk simbol gerbang, menyatakan hubungan kejadian *input* yang mengarah pada kejadian *output*. Hubungan tersebut dimulai dari *top event* sampai ke *event* yang paling mendasar. Contoh dari simbol gerbang adalah *AND* dan *OR*.

Tahapan ketiga yaitu mencari *minimal cut set*. Mencari *minimal cut set* merupakan analisa kualitatif yang mana dipakai *Aljabar Boolean*. *Aljabar Boolean* merupakan aljabar yang dapat digunakan untuk melakukan penyederhanaan atau menguraikan rangkaian logika yang rumit dan kompleks menjadi rangkaian yang lebih sederhana (widjanarka, 2006)

Langkah terakhir yaitu melakukan analisa kuantitatif, yang mana dipakai teori realibilitas untuk menyelesaikannya. Keandalan/*Realibility* dapat didefinisikan sebagai nilai probabilitas bahwa suatu komponen atau suatu sistem akan sukses menjalani fungsinya, dalam jangka waktu dan kondisi operasi tertentu. Keandalan bernilai antara 0-1, dimana nilai 0 menunjukkan sistem gagal menjalankan fungsi dan 1 menunjukkan sistem 100% berfungsi.

Manfaat metode *Fault Tree Analysis* (FTA) ialah sebagai berikut;

1. Dapat menentukan faktor penyebab yang kemungkinan besar menimbulkan kegagalan.
2. Menentukan tahapan kejadian yang kemungkinan besar sebagai penyebab kegagalan.
3. Menganalisa kemungkinan sumber-sumber risiko sebelum kegagalan timbul.
4. Menginvestigasi suatu kegagalan.

Kelebihan dari metode *fault tree analysis* adalah;

1. Mudah menjelaskan semua perbedaan interaksi penyebab untuk menghasilkan kerugian.
2. Penyebab dasar dan logis dalam penyebab kerugian bisa dimengerti.
3. Dapat membuat tindakan pencegahan yang tepat untuk mengeliminir penyebab dasar sehingga kerugian yang sama tidak akan muncul lagi.

4. Dapat menghitung evaluasi kualitatif dan kuantitatif dari kerugian.

Pada dasarnya, *fault tree analysis* berisi seperti yang dijelaskan seperti pada **tabel 2.1**.







**Tabel 2.1** Istilah dalam metode *Fault Tree Analysis*

Istilah	Keterangan
<i>Event</i>	Penyimpangan yang tidak diharapkan dari suatu keadaan normal pada suatu komponen dari sistem
<i>Top Event</i>	Kejadian yang dikehendaki pada "puncak" yang akan diteliti lebih lanjut ke arah kejadian dasar lainnya dengan menggunakan gerbang logika untuk menentukan penyebab kegagalan
<i>Logic Event</i>	Hubungan secara logika antara input dinyatakan dalam AND dan OR
<i>Transferred Event</i>	Segitiga yang digunakan simbol transfer. Simbol ini menunjukkan bahwa uraian lanjutan kejadian berada di halaman lain.
<i>Undeveloped Event</i>	Kejadian dasar ( <i>Basic Event</i> ) yang tidak akan dikembangkan lebih lanjut karena tidak tersedianya informasi.
<i>Basic Event</i>	Kejadian yang tidak diharapkan yang dianggap sebagai penyebab dasar sehingga tidak perlu dilakukan analisa lebih lanjut.

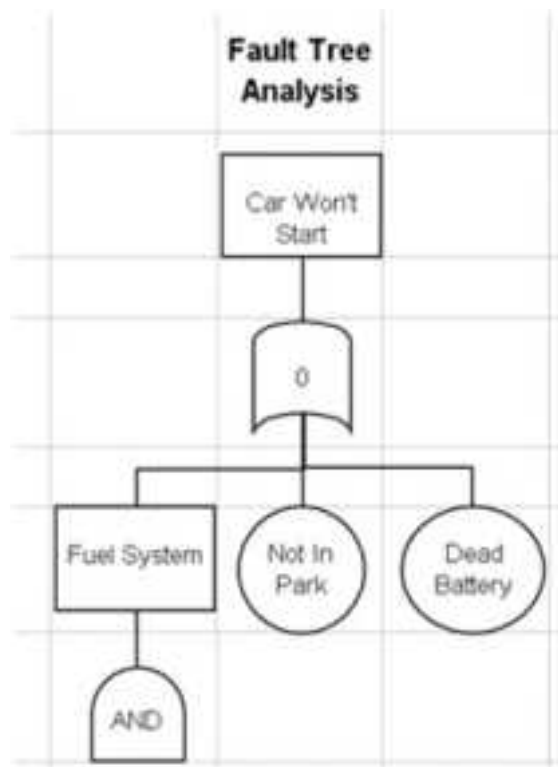
Pada pembuatan *fault tree analysis* ada berbagai simbol yang digunakan untuk maksud tertentu, berikut kegunaan dari simbol-simbol *fault tree analysis* pada **tabel 2.2**;



**Tabel 2.2** Simbol-simbol dalam *Fault Tree Analysis*

Simbol	Keterangan
	Top Event
	Logic Event OR
	Logic Event AND
	Doubtful Event
	Undeveloped Event
	Basic Event

Berikut contoh bentuk dari *fault tree analysis* pada kegagalan mobil yang tidak mau menyala seperti pada **gambar 2.6**;



**Gambar 2.7** Contoh *Fault Tree Analysis*

Pada *Fault Tree Analysis* memiliki dua model *logic event*; *AND Logic Event*, dan *OR Logic Event*. Pada *Boolean Equation* untuk *AND Logic Event* memiliki persamaan sebagai berikut;

$$A' = A \times B \times \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Untuk *Boolean Equation OR Logic Event* memiliki persamaan sebagai berikut;

$$A' = A + B + \dots$$

$A'$  = Hasil *OR Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

### 2.2.5 Matriks Resiko

Untuk mengetahui tingkat kemungkinan (*Likelihood*) terjadinya resiko karena ketidaksesuaian elemen pada 8 variabel yang diteliti maka dapat dilakukan analisis risiko menggunakan model matriks risiko. Menurut panduan dari AS/NZS4360 : 2004, tingkat kemungkinan dibagi menjadi 5 yaitu *Almost Certain*, *Likely*, *Moderate*, *Unlikely*, *Rare*. Sedangkan untuk menilai risiko (*Risk Score*) didapatkan dari *risk score calculator* yang dikembangkan oleh William Fine, G.F. Kinney dan A.D Wiruth dipublikasikan dalam *Journal Of Safety Research*, klasifikasi tingkat kemungkinan meluasnya resiko karena ketidaksesuaian sistem pencegahan dan penanggulangan resiko.

Untuk menentukan tingkat keparahan, digunakan panduan dari AS/NZS4360:2004 yang membaginya dalam 5 bagian yaitu *Insignificans*, *Minor*, *Moderate*, *Major*, *Catastrophic*. Untuk mengklasifikasinya dilihat dari dampaknya terhadap manusia, kerugian materil dan luas area resiko.

Setelah kita mengetahui bagaimana tingkat kemungkinannya kita juga perlu mengetahui dampak kerugian atau konsekuensi dari kejadian tersebut (consequences).

Dengan adanya data pengklasifikasian tingkat keparahan, maka dapat dibuat scenario terparah (*worst case scenario*). Hal ini dapat terjadi karena kurangnya kesesuaian proteksi resiko.

Dengan adanya kondisi tingkat kemungkinan (*Likelihood*) dalam kategori tertentu dan Tingkat keparahannya (*Severity*) masuk dalam kategori tertentu maka .dapat digambarkan pada **gambar 2.7** dalam bentuk sebagai berikut.

LIKELIHOOD	CONSEQUENCES				
	1 POSSIBLE	2 MINOR	3 MODERATE	4 MAJOR	5 EXTREMELY
A ALMOST CERTAIN	H	H	E	E	E
B LIKELY	M	H	M	E	E
C MODERATE	L	M	M	E	E
D UNLIKELY	L	L	M	H	E
E RARE	L	L	M	H	H

E : Extreme risk, immediate action required  
H : High risk, senior management attention needed  
M : Moderate risk, management responsibility must be specified  
L : Low risk, manage by routine procedures

**Gambar 2.8** Contoh Matriks Resiko

Pada tugas akhir ini, matriks resiko yang digunakan menggunakan *codes DNV RP-G101 tentang Risk Based Inspection of Offshore Static Equipment*. Untuk tingkatan probabilitas kegagalan pada *codes* dijelaskan pada **tabel 2.3** sebagai berikut;

**Tabel 2.3** Deskripsi Peluang Kegagalan (DNV RP-G101)

Cat.	Annual Failure Probability	
	Quantitative	Qualitative
5	>0.01	Failure expected
4	1.00E-03 s/d 1.00E-02	High
3	1.00E-04 s/d 1.00E-03	Medium
2	1.00E-05 s/d 1.00E-04	Low
1	<0.00001	Negligible

Untuk konsekuensi pada matriks resiko tersebut menggunakan *qualitatives method* sesuai dengan **tabel 2.4** berikut;

**Tabel 2.4** Urutan konsekuensi kegagalan secara kualitatif

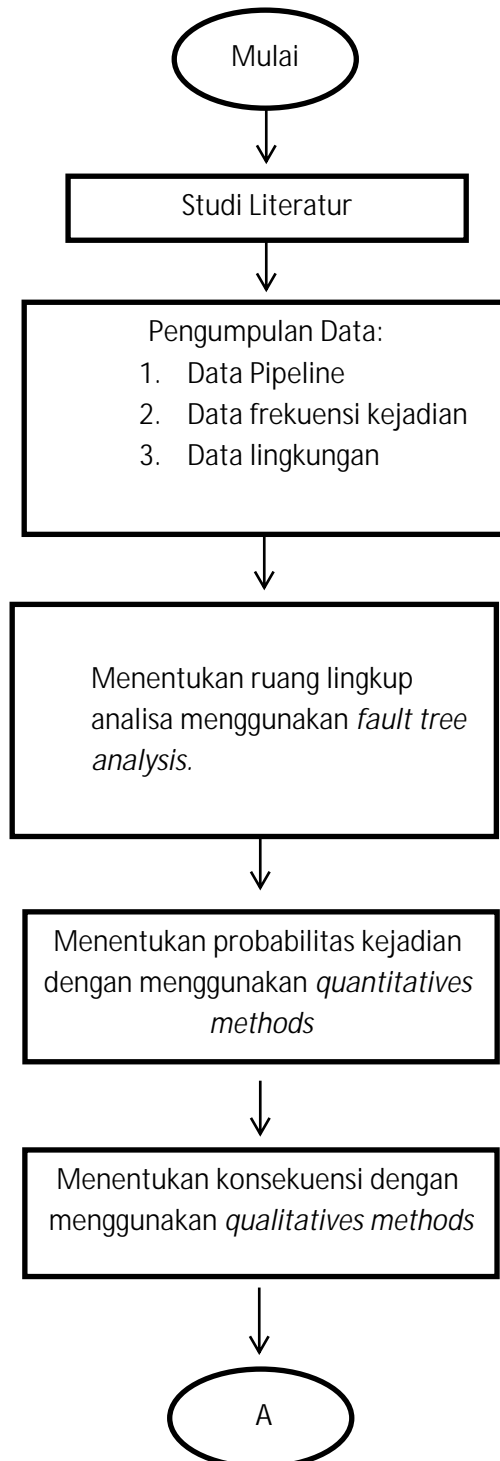
Rank	CoF Safety	CoF	
		Environment	Business
A	Insignificant	Insignificant	Insignificant
B	Slight	Slight	Slight
C	Major injury	Local effect	Local damage
D	Single fatality	Major effect	Major damage
E	Multiple fatality	Massive effect	Extensive damage

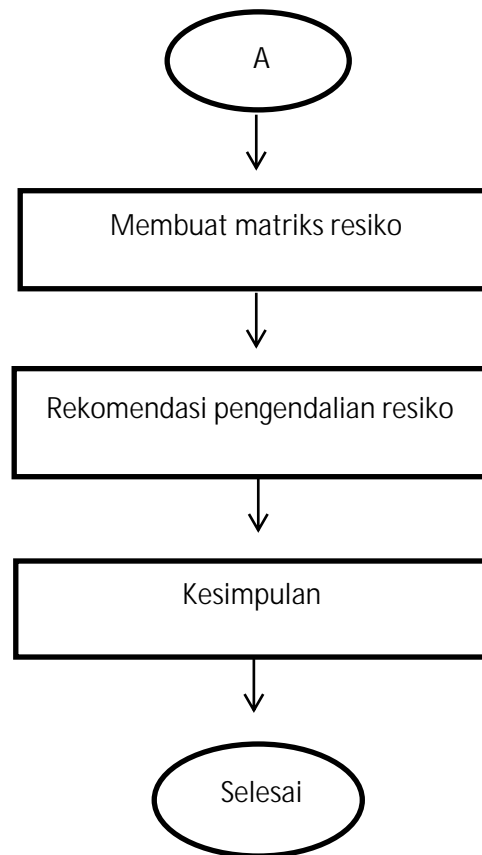
(Halaman ini sengaja di kosongkan.)

### III. METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir dan Prosedur Penelitian

Penjelasan mengenai pengerjaan tugas akhir dapat dilihat pada flow chart pada **gambar 3.1** sebagai berikut :





**Gambar 3.1** Diagram Alir Proses Pengerjaan Tugas Akhir

Langkah-langkah penelitian pengerjaan tugas akhir yang tertera pada **gambar 3.1** akan dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi literatur

Tahap awal dari pengerjaan tugas akhir ini adalah dengan mengumpulkan dan mempelajari literatur yang berkaitan dengan tugas akhir ini. Literatur yang dikumpulkan dapat berupa jurnal, tugas akhir, thesis, buku, *codes* yang membahas dan mengatur permasalahan dari resiko yang terjadi saat kebocoran pipa bawah laut. Studi literatur bertujuan untuk mendalami permasalahan resiko yang terjadi saat kebocoran pipa bawah laut termasuk faktor-faktor yang mempengaruhi, efek yang ditimbulkan, dan juga mitigasinya.

## 2. Pengumpulan data

Data-data yang diperlukan untuk melakukan pengerjaan tugas akhir ini antara lain:

- a. Data pipa berupa panjang pipa, tekanan desain, temperatur desain, temperatur desain, tekanan desain, dll.
- b. Data material pipa berupa tipe material, modulus young, SMYS, diameter dan tebal pipa, dll.
- c. Data lingkungan berupa kedalaman laut, tipe tanah, suhu air laut, dll.
- d. Data frekuensi kejadian. Data ini digunakan untuk mengetahui berapa besar frekuensi kejadian atau peluang kejadian tersebut.

## 3. Menentukan ruang lingkup analisa (*scope statement*)

Hal ini harus dipercayai oleh menjadi fokus awal dalam penentuan resiko nantinya. Ada tiga hal yang perlu diperhatikan, yaitu menentukan secara tepat apa yang harus dievaluasi, mengemukakan apa jenis analisa resiko yang digunakan, dan mengajukan hasil yang diharapkan. Dalam menentukan ruang lingkup ini menggunakan metode *Fault Tree Analysis*.

## 4. Menentukan probabilitas

Pada langkah ini diharapkan sudah bisa menerjemahkan besaran frekuensi kejadian dari *fault tree analysis* mulai dari *top event* hingga *basic event*. Untuk penentuan kejadian secara *quantitatives* digunakan untuk perspektif manajemen resiko. Pada alur ini akan dicari mengenai probabilitas dari suatu kejadian.

## 5. Menentukan konsekuensi

Pada langkah ini diharapkan sudah bisa menentukan konsekuensi dari suatu kejadian mulai dari *safety*, *environment*, dan *business*. Pendekatan yang digunakan menggunakan *qualitatives methods*.



6. Membuat matriks resiko

Kegunaan dari matriks resiko ini nantinya akan membantu menentukan zona merah mana yang perlu itu dilakukan pengendalian resiko. Proses pembuatan matriks resiko menggunakan berbagai macam skenario yang mungkin terjadi dan menentukan zona yang masih bisa di toleransi hingga zona yang tidak bisa di toleransi.

7. Pengendalian Resiko

Pada pengendalian resiko ini, digunakan untuk mencegah, mendeteksi, dan meredakan ancaman serta memperbaiki sistem.

8. Kesimpulan

Dari proses yang sudah kita lalui, pada akhirnya tugas akhir ini akan memberikan kesimpulan tentang analisa resiko dari kebocoran pipa bawah laut dan rekomendasi dari pengendalian resiko tersebut.

### 3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan langkah awal yang penting untuk mengerjakan dan menganalisa tugas akhir ini.

Data Pipa

Data pipa yang digunakan pada tugas akhir ini ialah data *Pipeline* PGN sesuai dengan **tabel 3.1** sebagai berikut;

**Tabel 3.1** Data *Pipeline* PGN

Description	Unit	Quantity
Grade (SMYS)		X-65
Diameter Luar Pipa (OD)	in	42
Diameter Dalam Pipa (ID)	in	40.25
Wall Thickness (t)	in	0.875

Steel Density (psteel)	lb.ft <sup>3</sup>	490
Young Modulus (E)	ksi	2440
SMYS	Mpa	448

#### Data Frekuensi

Data frekuensi kejadian dari basic event yang digunakan didapat dari *paper Scientific Programming* dan *Scientific Research* sesuai dengan **tabel 3.2**;

**Tabel 3.2** Data Frekuensi Kejadian

No	Basic Event	Frequency	Sumber Data
1	Adanya pihak yang mengabaikan peringatan	0.0035	SAM-Scientific Programming
2	Adanya gangguan mutlak dari peringatan	0.0021	SAM-Scientific Programming
3	Adanya sabotase	0.0019	SAM-Scientific Programming
4	Adanya kelebihan beban	0.0000406	SAM-Scientific Programming
5	Gempa bumi	0.0000056 6	SAM-Scientific Programming
6	Terjadinya luapan	0.000116	SAM-Scientific Programming
7	Terjadinya penurunan	0.000141	SAM-Scientific Programming
8	Cacat desain material	0.0000888	SAM-Scientific Programming
9	Cacat konstruksi material	0.00048	SAM-Scientific Programming
10	Cacat desain pengelasan	0.000245	SAM-Scientific Programming

11	Cacat konstruksi pengelasan	0.000278	SAM-Scientific Programming
12	Cacat desain pembantu	0.0000262	SAM-Scientific Programming
13	Cacat konstruksi pembantu	0.0052	SAM-Scientific Programming
14	Kegagalan karena proteksi korosi	0.000278	SAM-Scientific Programming
15	Kegagalan karena coating	0.000296	SAM-Scientific Programming
16	Kegagalan karena korosi tanah	0.0117	SAM-Scientific Programming
17	Kegagalan karena medium air	0.00048	SAM-Scientific Programming
18	kegagalan karena medium bantuan	0.000296	SAM-Scientific Programming
19	Kegagalan karena inhibitor	0.00048	SAM-Scientific Programming
20	Kegagalan karena coating	0.000296	SAM-Scientific Programming
21	Kegagalan karena debonding	0.000278	SAM-Scientific Programming
22	Deformasi plastis Pipa Bawah Laut	0.0013	Scientific Research

#### Data Lingkungan

Data lingkungan yang digunakan adalah data letak dimana pipa akan diinstalasi sesuai dengan **tabel 3.3**;

**Tabel 3.3** Data Lingkungan

Load	Parameter Spectrum				Arus			Angin	
	Jonswap				V	V	Arah	V	Arah
	Hs	Tp	$\gamma$	Arah	Permukaan	Dasar			
	(m)	(s)		0	(m/s)	(m/s)	0	(m/s)	0
1 th	1,7	6,3	2,5	0	0,94	0,5	0	14,7	0
1 th	1,4	5,8	2,5	45	0,94	0,5	0	12,9	45
1 th	1,3	5,6	2,5	90	0,94	0,5	0	12,5	90
1 th	0,7	4	2,5	135	0,94	0,5	0	8,1	135
1 th	1,1	4,9	2,5	180	0,94	0,5	0	10,7	180

(Halaman ini sengaja di kosongkan.)

## IV. PEMBAHASAN

### 4.1 *Fault Tree Analysis*

Pada proses penentuan ruang lingkup analisa. Langkah pertama dalam pembuatan *Fault tree analysis* menjadi pilihan menentukan suatu kejadian dari sebab hingga menuju akibatnya. *Fault tree analysis* dimulai dengan menentukan kejadian yang akan dibedah hingga menurun ke suatu kejadian yang paling dasar (*basic event*) dan menjadi sebab dari suatu kejadian (*top event*).

Langkah pertama diatas bertujuan untuk mencari *top event* yang merupakan definisi dari kegagalan suatu sistem, ditentukan terlebih dahulu dalam menentukan sebuah model grafis FTA.

Tahapan kedua membuat model grafis *Fault Tree*. Aturan dalam membuat FTA adalah:

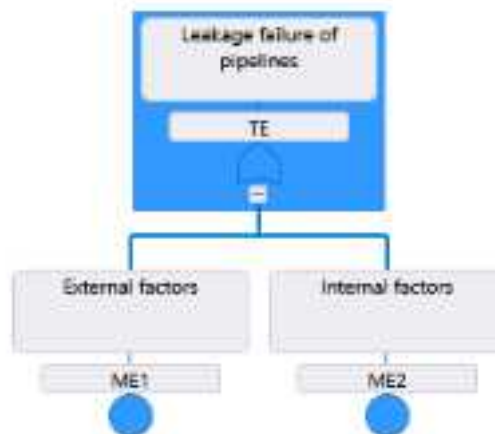
1. Mendeskripsikan *fault event* (kejadian gagal)
2. Mengevaluasi *fault event* (kejadian gagal)
3. Melengkapi semua gerbang logika (*logical gate*)

Model grafis FTA memuat beberapa simbol, yaitu simbol kejadian, simbol gerbang dan simbol transfer. Simbol kejadian adalah simbol yang berisi kejadian pada sistem yang dapat digambarkan dengan bentuk lingkaran, persegi dan yang lainnya, yang mempunyai arti masing-masing. Contoh dari simbol kejadian adalah *intermediate event* dan *basic event*. Sedangkan untuk simbol gerbang, menyatakan hubungan kejadian *input* yang mengarah pada kejadian *output*. Hubungan tersebut dimulai dari *top event* sampai ke *event* yang paling mendasar. Contoh dari simbol gerbang adalah *AND* dan *OR*.

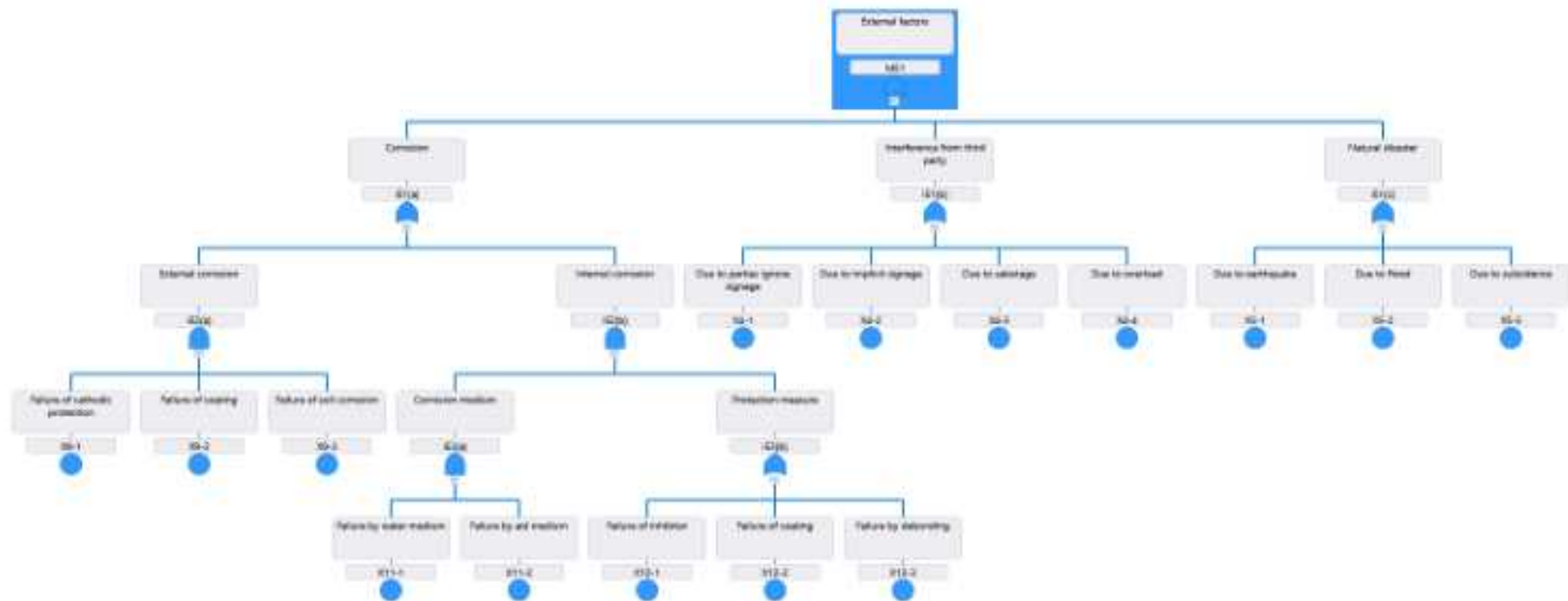
Tahapan ketiga yaitu mencari *minimal cut set*. Mencari *minimal cut set* merupakan analisa kualitatif yang mana dipakai *Aljabar Boolean*. *Aljabar Boolean* merupakan aljabar yang dapat digunakan untuk

melakukan penyederhanaan atau menguraikan rangkaian logika yang rumit dan kompleks menjadi rangkaian yang lebih sederhana (widjanarka, 2006)

Langkah terakhir yaitu melakukan analisa kuantitatif, yang mana dipakai teori realibilitas untuk menyelesaikannya. Keandalan/*Realibility* dapat didefinisikan sebagai nilai probabilitas bahwa suatu komponen atau suatu sistem akan sukses menjalani fungsinya, dalam jangka waktu dan kondisi operasi tertentu. Keandalan bernilai antara 0-1, dimana nilai 0 menunjukkan sistem gagal menjalankan fungsi dan 1 menunjukkan sistem 100% berfungsi. Pada prosesnya disini, *top event* dari Tugas Akhir ini ialah “Kegagalan yang terjadi pada kebocoran pipa bawah laut.” Yang kemudian diturunkan menjadi *main event* dan terus diturunkan hingga menjadi *basic event* sesuai dengan **gambar 4.1** hingga **gambar 4.3**. setiap gambar memiliki singkatan yang akan dijelaskan pada **tabel 4.1** dan **tabel 4.2**.

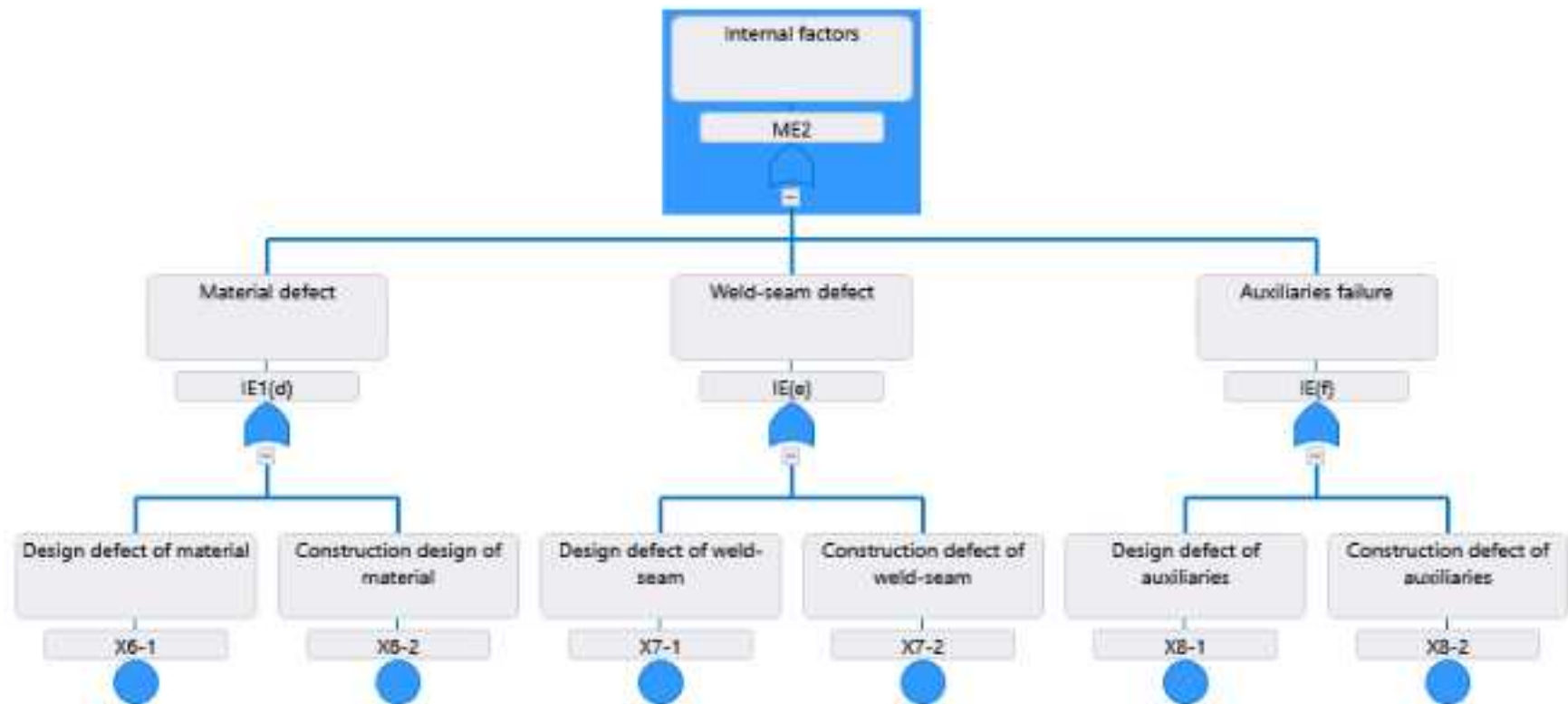


**Gambar 4.1** FTA Kegagalan yang terjadi saat kebocoran pipa bawah laut



**Gambar 4.2** sub-FTA *Main Event* Kegagalan Pihak Ketiga





**Gambar 4.3** sub-FTA *Main Event* Kegagalan Manajemen

**Tabel 4.1** *Top Event dan Middle Event dari Fault Tree Analysis*

<b>Top Event, Main Event, dan Intermediate</b>	
<b>No.</b>	<b>Event</b>
TE	Kebocoran pipa bawah laut
	Kebocoran pipa bawah laut karena faktor
ME1	eksternal
ME2	Kebocoran pipa bawah laut karena faktor
	internal
IE1(a)	Korosi
IE1(b)	Interfensi pihak ketiga
IE1(c)	Bencana alam
IE1(d)	Cacat material
IE1(e)	Cacat pengelasan
IE1(f)	Cacat sistem pembantu
IE2(a)	Korosi karena faktor internal
IE2(b)	Korosi karena faktor eksternal
IE3(a)	Korosi dikarenakan medium
IE3(b)	Korosi dikarenakan ukuran proteksi

**Tabel 4.2** *Basic Event dari Fault Tree Analysis*

<b>No.</b>	<b>Basic Event</b>
	Adanya pihak yang mengabaikan
X4-1	peringatan
X4-2	Adanya gangguan implisit dari peringatan
X4-3	Adanya sabotase
X4-4	Adanya kelebihan beban
X5-1	Kegagalan karena gempa bumi
X5-2	kegagalan karena terjadinya luapan
X5-3	Kegagalan karena terjadinya penurunan
X6-1	Cacat desain material
X6-2	Cacat konstruksi material

X7-1	Cacat desain pengelasan
X7-2	Cacat konstruksi pengelasan
X8-1	Cacat desain sistem pembantu
X8-2	Cacat konstruksi sistem pembantu
X9-1	Kegagalan karena proteksi korosi
X9-2	Kegagalan karena coating
X9-3	Kegagalan karena korosi tanah
X11-1	Kegagalan karena medium air
X11-2	Kegagalan karena medium bantuan
X12-1	Kegagalan karena inhibitor
X12-2	Kegagalan karena coating
X12-3	Kegagalan karena debonding

Untuk lebih jelasnya dalam pembacaan *fault tree analysis* tersebut dapat dilihat melalui tabel dibawah ini. Tabel ini bertujuan untuk penerjemahan dari *bottom event* hingga menuju ke *top event* sesuai dengan **tabel 4.3** hingga **tabel 4.8**

**Tabel 4.3 Bottom Event**

No	Bottom Event	Logic Event	Middle Event (III)
1	Kegagalan karena medium air	AND	Korosi dikarenakan medium
2	kegagalan karena medium bantuan		
3	Kegagalan karena inhibitor	OR	Korosi dikarenakan ukuran proteksi
4	Kegagalan karena coating		
5	Kegagalan karena debonding		

**Tabel 4.4** *Intermediate Event (III)*

No	Middle Event (III)	Logic Event	Middle Event (II)
1	Kegagalan karena proteksi korosi	AND	Korosi karena faktor internal
2	Kegagalan karena coating		
3	Kegagalan karena korosi tanah		
4	Korosi dikarenakan medium	AND	Korosi karena faktor eksternal
5	Korosi dikarenakan ukuran proteksi		

**Tabel 4.5** *Intermediate Event (II)*

No	Middle Event (II)	Logic Event	Middle Event (I)
1	Adanya pihak yang mengabaikan peringatan	OR	Intervensi pihak ketiga
2	Adanya gangguan implisit dari peringatan		
3	Adanya sabotase		
4	Adanya kelebihan beban		
5	Kegagalan karena gempa bumi	OR	Bencana alam
6	kegagalan karena terjadinya luapan		
7	Kegagalan karena terjadinya penurunan		
8	Cacat desain material	OR	Cacat material
9	Cacat konstruksi material		
10	Cacat desain pengelasan	OR	Cacat pengelasan

11	Cacat konstruksi pengelasan		
12	Cacat desain pembantu	OR	Cacat sistem pembantu
13	Cacat konstruksi pembantu		
14	Korosi karena faktor internal	OR	Korosi
15	Korosi karena faktor eksternal		

**Tabel 4.6** *Intermediate Event (I)*

No	Middle Event (I)	Logic Event	Main Event
1	Intervensi pihak ketiga		Kebocoran pipa bawah laut
2	Bencana alam	OR	karena faktor eksternal
3	Korosi		
4	Cacat material		Kebocoran pipa bawah laut
5	Cacat pengelasan	OR	karena faktor internal
6	Cacat sistem pembantu		

**Tabel 4.7** *Main Event*

No	Main Event	Logic Event	Top Event
1	Kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal	OR	Kebocoran pipa bawah laut
2	Kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal		

**Tabel 4.8** *Top Event*

No	Top Event
1	Kebocoran pipa bawah laut

Keterangan : Tulisan berwarna merah berarti kejadian tersebut adalah *basic event*.

## 4.2 Menentukan Probabilitas Kejadian dengan Quantitatives Method

Pada proses ini, dari data frekuensi kejadian *basic event* dapat di naikkan hingga frekuensi atau probabilitas *top event* dapat diketahui. Pada *basic event* sudah diketahui berapa besar frekuensinya berdasarkan data pada **tabel 3.2** dari *Scientific Programming* dan *Scientific Research* Untuk mengetahui berapa besaran frekuensi dapat menggunakan *Boolean Equation*. *Boolean Equation* digunakan untuk untuk menentukan frekuensi kejadian dengan ditentukan terlebih dahulu *logic event AND* atau *OR* kemudian dinaikkan untuk mengetahui frekuensi kejadian diatas *basic event*. Pada *Boolean Equation untuk AND Logic Event* memiliki persamaan sebagai berikut;  
 $A' = A \times B \times \dots$

$$\begin{aligned} A' &= \text{Hasil AND Logic Event} \\ A &= \text{Event A} \\ B &= \text{Event B} \end{aligned}$$

Untuk *Boolean Equation OR Logic Event* memiliki persamaan sebagai berikut;

$$A' = A + B + \dots$$

$$\begin{aligned} A' &= \text{Hasil OR Logic Event} \\ A &= \text{Event A} \\ B &= \text{Event B} \end{aligned}$$

Frekuensi pada *basic event* pada dasarnya adalah *prior probability* yang akan digunakan nantinya dalam *input model* pada *software TopEvent FTA*. *Software* ini digunakan untuk mengetahui berapa besar probabilitas tiap *event* atau kejadian. Pada dasarnya, *software TopEvent FTA* membantu dalam menentukan probabilitas kejadian dengan melihat seberapa besar kontribusi kejadian tersebut pada kegagalan dari kebocoran pipa bawah laut. Untuk mencari seberapa besar kontribusi dari kejadian tersebut digunakan dengan melakukan pendekatan *minimum cut-sets*. *Minimum cut-sets* memiliki *order* yang berbeda tergantung dari hubungan *logic event* dari suatu kejadian. Seperti pada **tabel 4.9** hingga **tabel 4.11** akan menerangkan tentang seperti apa *minimal cut-sets* dari kejadian dan seberapa besar kontribusinya pada kejadian tersebut. Tahapan ini kemudian mencari *minimal cut set*. Mencari *minimal cut set*

merupakan analisa kualitatif yang mana dipakai *Aljabar Boolean*. *Aljabar Boolean* merupakan aljabar yang dapat digunakan untuk melakukan penyederhanaan atau menguraikan rangkaian logika yang rumit dan kompleks menjadi rangkaian yang lebih sederhana (widjanarka, 2006);

**Tabel 4.9** *Minimal Cut-Sets Main Event* Faktor Eksternal

Minimal Cut Set	Order	Unavailability	Contribution
X4-1	1	0.0035	0.448530422028751
X4-2	1	0.0021	0.269118253217251
X4-3	1	0.0019	0.243487943387036
X5-3	1	0.000141	0.0180693684303011
X5-2	1	0.000116	0.0148655797015243
X4-4	1	4.06E-05	0.00520295289553351
X5-1	1	5.66E-06	0.000725337768195066
X9-1.X9-2.X9-3	3	9.627696E-10	1.23380415715558E-07
X11-1.X11-2.X12-1	3	6.81984E-11	8.73973060962445E-09
X11-1.X11-2.X12-2	3	4.205568E-11	5.38950054260175E-09
X11-1.X11-2.X12-3	3	3.949824E-11	5.06176064474083E-09

**Tabel 4.10** *Minimal Cut-Sets Main Event* Faktor Internal

Minimal Cut Set	Order	Unavailability	Contribution
X8-2	1	0.0052	0.823045267489712
X6-2	1	0.00048	0.0759734093067427
X7-2	1	0.000278	0.0440012662234884
X7-1	1	0.000245	0.0387780943336499
X6-1	1	8.88E-05	0.0140550807217474
X8-1	1	2.62E-05	0.0041468819246597

**Tabel 4.11** *Minimal Cut-Sets Top Event* Kebocoran Pipa Bawah Laut

Minimal Cut Set	Order	Unavailability	Contribution
ME1	1	0.00780326	0.552589499803842

ME2                      1                      0.006318                      0.447410500196158

Maka dari itu, dari data frekuensi kejadian pada basic event kita dapat mengetahui berapa frekuensi kejadian dari kejadian yang ada diatasnya seperti pada **tabel 4.12** hingga **tabel 4.16** berikut;

**Tabel 4.12** Frekuensi *Intermediate Event* (III)

No	Bottom Event	Probability	Logic Event	Middle Event (III)	Probability
1	Kegagalan karena medium air	0.00048	AND	Korosi	1.4208E-07
2	kegagalan karena medium bantuan	0.000296		dikarenakan medium	
3	Kegagalan karena inhibitor	0.00048	OR	Korosi	0.001054
4	Kegagalan karena coating	0.000296		dikarenakan ukuran	
5	Kegagalan karena debonding	0.000278		proteksi	

**Tabel 4.13** Frekuensi *Intermediate Event* (II)

No	Middle Event (III)	Probability	Logic Event	Middle Event (II)	Probability
1	Kegagalan karena proteksi korosi	0.000278	AND	Korosi karena faktor internal	1.49752E-10
2	Kegagalan karena coating	0.000296			
3	Kegagalan karena korosi tanah	0.0117	AND	Korosi karena faktor	9.6277E-10
4	Korosi dikarenakan medium	1.4208E-07			



5	Korosi dikarenakan ukuran proteksi	0.001054	eksternal
---	------------------------------------	----------	-----------

**Tabel 4.14** Frekuensi *Intermediate Event* (I)

No	Middle Event (II)	Probability	Logic Event	Middle Event (I)	Probability
1	Adanya pihak yang mengabaikan peringatan	0.0035	OR	Intervensi pihak ketiga	0.0075406
2	Adanya gangguan implisit dari peringatan	0.0021			
3	Adanya sabotase	0.0019			
4	Adanya kelebihan beban	0.0000406	OR	Bencana alam	0.00026266
5	Kegagalan karena gempa bumi	0.00000566			
6	kegagalan karena terjadinya luapan	0.000116			
7	Kegagalan karena terjadinya penurunan	0.000141	OR	Cacat material	0.0005688
8	Cacat desain material	0.0000888			
9	Cacat konstruksi material	0.00048			
10	Cacat desain pengelasan	0.000245	OR	Cacat pengelasan	0.000523
11	Cacat konstruksi pengelasan	0.000278			
12	Cacat desain pembantu	0.0000262		Cacat sistem pembantu	0.0052262
13	Cacat konstruksi pembantu	0.0052	OR		
14	Korosi karena faktor internal	1.49752E-10	OR	Korosi	1.11252E-09

15	Korosi karena faktor eksternal	9.6277E-10
----	--------------------------------	------------

**Tabel 4.15** Frekuensi *Main Event*

No	Middle Event (I)	Probability	Logic Event	Main Event	Probability
1	Intervensi pihak ketiga	0.0075406	OR	Kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal	0.007803261
2	Bencana alam	0.00026266			
3	Korosi	1.11252E-09			
4	Cacat material	0.0005688	OR	Kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal	0.006318
5	Cacat pengelasan	0.000523			
6	Cacat sistem pembantu	0.0052262			

**Tabel 4.16** Frekuensi *Top Event*

No	Main Event	Probability	Logic Event	Top Event	Probability
1	Kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal	0.007803261	OR	Kebocoran pipa bawah laut	0.014121261
2	Kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal	0.006318			

Maka dari itu, dapat kita simpulkan bahwa frekuensi untuk *main event* **kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal** sebesar **0.007803261**, dan untuk **kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal** sebesar **0.006318**. Untuk frekuensi *top event* yaitu **kebocoran pipa bawah laut** sebesar **0.014121261**.

#### 4.3 Menentukan Konsekuensi Kejadian dengan Qualitatives Method

Pada proses ini untuk menentukan konsekuensi dari suatu kejadian mulai dari *safety*, *environment*, dan *business* menggunakan wawancara kepada 5 orang *expert judgment*. Expert Judgment diambil dari perusahaan EPC yaitu PT. Perusahaan Gas Negara (PT. PGN). Pada perusahaan ini diambil kurang lebih 5 orang yang dianggap mampu menjadi *expert judgment* dengan kapasitas tingkat pendidikan, pengalaman kerja, serta jabatan yang diduduki saat ini yang disesuaikan dengan Tugas Akhir ini. Karena menggunakan kuisioner wawancara pendekatan yang digunakan menggunakan *qualitatives methods*. Berikut indikator penentuan nilai dari wawancara pada **gambar 4.4**;

	Skala	A	B	C	D	E
Tipe Dampak	Safety	Tidak terjadi kecelakaan	Terjadi kecelakaan sehingga absen kerja selama < 2 hari	Terjadi kecelakaan sehingga absen kerja selama > 2 hari	Terjadi kecelakaan sehingga ada 1 korban jiwa	Terjadi kecelakaan sehingga banyak korban jiwa
	Environment	Tidak terjadi polusi	Terjadi polusi dan dapat dibersihkan dengan mudah	Terjadi polusi sehingga membutuhkan 1 minggu untuk dibersihkan	Terjadi polusi dan berdampak terhadap ekosistem lingkungan	Terjadi polusi sehingga menyebabkan kerusakan besar terhadap
	Business	Tidak membutuhkan perbaikan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1x pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 4x pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1 bulan pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1 tahun pengerjaan

**Gambar 4.4** Indikator Penentuan Konsekuensi

Setelah membuat indikator penentuan konsekuensi maka dibuatlah pertanyaan untuk kuisioner wawancara yang nantinya akan bisa menghasilkan seberapa besar tingkat konsekuensi dari kejadian yang akan dipertanyakan. Pertanyaan akan difokuskan pada main event yaitu kegagalan karena faktor internal, dan kegagalan karena faktor eksternal. Untuk Top Event yaitu kebocoran pipa bawah laut. Berikut contoh kuisioner wawancara yang dibagikan;

### Kriteria Pemilihan Jawaban:

Untuk menjawab pertanyaan dibawah ini, responden dapat memilih jawaban yang telah disesuaikan dengan indikator pada matriks resiko yang sudah disediakan pada lembar sebelumnya dengan mencentang (✓) pilihan A, B, C, D, atau E. Terimakasih atas partisipasinya.

### Pertanyaan:

#### Main Event (Kebocoran Pipa Bawah Laut karena Faktor Eksternal):

1. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

2. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

3. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

#### Main Event (Kebocoran Pipa Bawah Laut karena Faktor Internal):

4. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

5. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

6. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

**Top Event (Kegagalan Kebocoran Pipa Bawah Laut):**

7. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

8. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

9. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ ☐ ☐ ☐ ☐

Dari hasil kuisisioner wawancara tersebut didapatkan hasil sesuai pada **tabel 4.17** hingga **tabel 4.19** sebagai berikut;

**Tabel 4.17** Hasil Kuisisioner *Main Event* Kegagalan Faktor Eksternal

No	Responden	Faktor Eksternal		
		Safety	Environment	Business
1	Rezha Eka	5	5	5
2	Zulian Andre	5	4	4
3	Tri Budi Pratikno	4	4	5
4	Natasha Amalia	4	4	5
5	Hari Dwi Galuh	4	5	4

**Tabel 4.18** Hasil Kuisisioner *Main Event* Kegagalan Faktor Internal

No	Responden	Faktor Internal		
		Safety	Environment	Business
1	Rezha Eka	2	3	2
2	Zulian Andre	1	2	2
3	Tri Budi Pratikno	2	2	2
4	Natasha Amalia	2	2	2
5	Hari Dwi Galuh	2	3	3

**Tabel 4.19** Hasil Kuisisioner *Top Event* Kebocoran Pipa Bawah Laut

No	Responden	Kebocoran Pipa Bawah Laut		
		Safety	Environment	Business
1	Rezha Eka	4	5	5
2	Zulian Andre	5	5	4
3	Tri Budi Pratikno	5	4	5
4	Natasha Amalia	5	4	4
5	Hari Dwi Galuh	4	5	4

Maka jika dicari rata-rata dari tiap konsekuensi dari kejadian berdasarkan *safety*, *environment* dan *business* didapatkan hasil pada **tabel 4.20** sebagai berikut;

**Tabel 4.20** Hasil Konsekuensi Kejadian

No	Kejadian	Dampak	Besaran
1	Faktor Eksternal	Safety	4.4
		Environment	4.4
		Business	4.6
2	Faktor Internal	Safety	1.8
		Environment	2.4

3	Kebocoran Pipa Bawah Laut	Business	2.2
		Safety	4.6
		Environment	4.6
		Business	4.4

#### 4.4 Menentukan Posisi Resiko pada Matriks Resiko

Setelah kita mengetahui berapa besar probabilitas dan konsekuensi dari suatu kejadian. Kita dapat memasukkannya ke dalam matriks resiko. Matriks resiko yang digunakan menggunakan *codes* sesuai dengan DNV RP-G101. Dalam hal ini, untuk probabilitas menggunakan pendekatan *quantitatives* sedangkan untuk konsekuensi menggunakan pendekatan *qualitatives*. Setelah kita mengetahui *probability of failure* dan *consequence of failure*, maka sesuaikan dengan matriks seperti **gambar 4.5** dibawah ini;

#### MATRIKS RESIKO

##### DNV RPG101

Frequency	Concequency	A	B	C	D	E
	>0.01	Yellow	Red	Red	Red	Red
	1.00E-03 s/d 1.00E-02	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	1.00E-04 s/d 1.00E-03	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	1.00E-05 s/d 1.00E-04	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	<0.00001	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

**Gambar 4.5** Matriks Resiko DNV RP-G101

Karena probabilitas dan konsekuensi sudah diketahui seperti pada **tabel 4.21** dibawah ini;

**Tabel 4.21** Probabilitas dan Konsekuensi Kejadian

No	Kejadian	Probabilitas	Konsekuensi		
			Safety	Environment	Business
1	Kegagalan Faktor Eksternal	8.E-03	4.4	4.4	4.6
2	Kegagalan Faktor Internal	6.E-03	1.8	2.4	2.2

3	Kebocoran Pipa Biwah Laut	1.E-02	4.6	4.6	4.4
---	---------------------------	--------	-----	-----	-----

Maka dari hasil tersebut pada akhirnya dapat menentukan di zona manakah resiko tersebut sesuai dengan **tabel 4.22** hingga **tabel 4.24**. Untuk resiko yang berada pada zona hijau, dapat dikatakan resikonya masih bisa di toleransi, untuk yang berada pada zona kuning dan merah dikatakan resiko yang perlu untuk diwaspadai dan dilakukan pengendalian resiko.

**Tabel 4.22** Posisi Resiko Kegagalan Faktor Eksternal

**Kegagalan Faktor Eksternal ditinjau dari Safety**

		Concequency				
		Insignifical	Slight	Major Injury	Single Fatality	Multiple Fatality
Frequency	>0.01	Yellow	Red	Red	Red	Red
	1.00E-03 s/d 1.00E-02	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	1.00E-04 s/d 1.00E-03	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	1.00E-05 s/d 1.00E-04	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	<0.00001	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

**Kegagalan Faktor Eksternal ditinjau dari Environment**

		Concequency				
		Insignifical	Slight	Local Effect	Major Effect	Massive Effect
Frequency	>0.01	Yellow	Red	Red	Red	Red
	1.00E-03 s/d 1.00E-02	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	1.00E-04 s/d 1.00E-03	Green	Yellow	Yellow	Red	Red



	1.00E-05 s/d 1.00E-04	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	<0.00001	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

**Kegagalan Faktor Eksternal ditinjau dari Business**

		Concequency				
		Insignifica nt	Slight	Local Damage	Major Damage	Extensive Damage
<b>Frequency</b>	>0.01	Yellow	Red	Red	Red	Red
	1.00E-03 s/d 1.00E-02	Yellow	Yello w	Red	<b>Red</b>	Red
	1.00E-04 s/d 1.00E-03	Green	Yello w	Yellow	Red	Red
	1.00E-05 s/d 1.00E-04	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	<0.00001	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

**Tabel 4.23** Posisi Resiko Kegagalan Faktor Internal

**Kegagalan Faktor Internal ditinjau dari Safety**

		Concequency				
		Insignifica nt	Slight	Major Injury	Single Fatality	Multiple Fatality
<b>Frequency</b>	>0.01	Yellow	Red	Red	Red	Red
	1.00E-03 s/d 1.00E-02	<b>Yellow</b>	Yello w	Red	Red	Red
	1.00E-04 s/d 1.00E-03	Green	Yello w	Yellow	Red	Red
	1.00E-05 s/d 1.00E-04	Green	Green	Yellow	Yellow	Red

	<0.00001	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
--	----------	-------	-------	-------	--------	--------

### Kegagalan Faktor Internal ditinjau dari Environment

		Concequency				
		Insignifica nt	Slight	Local Effect	Major Effect	Massive Effect
Frequency	>0.01	Yellow	Red	Red	Red	Red
	1.00E-03 s/d 1.00E-02	Yellow	Yello w	Red	Red	Red
	1.00E-04 s/d 1.00E-03	Green	Yello w	Yellow	Red	Red
	1.00E-05 s/d 1.00E-04	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	<0.00001	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

### Kegagalan Faktor Internal ditinjau dari Business

		Concequency				
		Insignifica nt	Slight	Local Damage	Major Damage	Extensive Damage
Frequency	>0.01	Yellow	Red	Red	Red	Red
	1.00E-03 s/d 1.00E-02	Yellow	Yello w	Red	Red	Red
	1.00E-04 s/d 1.00E-03	Green	Yello w	Yellow	Red	Red
	1.00E-05 s/d 1.00E-04	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	<0.00001	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

**Tabel 4.24** Posisi Resiko Kebocoran Pipa Bawah Laut

**Kebocoran Pipa Bawah Laut ditinjau dari Safety**

		Concequency				
		Insignifica nt	Slight	Major Injury	Single Fatality	Multiple Fatality
Frequency	>0.01	Yellow	Red	Red	Red	Red
	1.00E-03 s/d 1.00E-02	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	1.00E-04 s/d 1.00E-03	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	1.00E-05 s/d 1.00E-04	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	<0.00001	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

**Kebocoran Pipa Bawah Laut ditinjau dari Environment**

		Concequency				
		Insignifica nt	Slight	Local Effect	Major Effect	Massive Effect
Frequency	>0.01	Yellow	Red	Red	Red	Red
	1.00E-03 s/d 1.00E-02	Yellow	Yellow	Red	Red	Red

	1.00E-04 s/d 1.00E-03	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	1.00E-05 s/d 1.00E-04	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	<0.00001	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

#### Kebocoran Pipa Bawah Laut ditinjau dari Business

		Concequency				
		Insignifical	Slight	Local Damage	Major Damage	Extensive Damage
Frequency	>0.01	Yellow	Red	Red	Red	Red
	1.00E-03 s/d 1.00E-02	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	1.00E-04 s/d 1.00E-03	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	1.00E-05 s/d 1.00E-04	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	<0.00001	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

Untuk resiko yang berada pada zona hijau, dapat dikatakan resikonya masih bisa di toleransi, untuk yang berada pada zona kuning dikatakan resiko yang perlu untuk diwaspadai. Untuk yang memasuki zona merah dikatakan bahwa resikonya sudah tidak dapat ditolerir dan harus segera dilakukan pengendalian resiko.

#### 4.5 Pengendalian Resiko

Untuk pengendalian resiko pada analisa resiko konstruksi pipa bawah laut, difokuskan pada resiko yang berada pada zona kuning dan merah. Untuk resiko yang berada pada zona hijau masih bisa di toleransi. Berikut resiko pada **tabel 4.25** yang berada pada zona kuning;

**Tabel 4.25** Resiko yang perlu di kendalikan

No	Resiko	Probabilitas	Konsekuensi
1	Kegagalan Faktor Eksternal ditinjau dari <i>safety</i>	<i>High</i>	<i>Single fatality</i>
2	Kegagalan Faktor Eksternal ditinjau dari <i>environment</i>	<i>High</i>	<i>Major effect</i>
3	Kegagalan Faktor Eksternal ditinjau dari <i>business</i>	<i>High</i>	<i>Major damage</i>
4	Kegagalan Faktor internal ditinjau dari <i>safety</i>	<i>High</i>	<i>Insignificant</i>
5	Kegagalan Faktor internal ditinjau dari <i>environment</i>	<i>High</i>	<i>Slight</i>
6	Kegagalan Faktor internal ditinjau dari <i>business</i>	<i>High</i>	<i>Slight</i>
7	Kebocoran pipa bawah laut ditinjau dari <i>safety</i>	<i>Failure expected</i>	<i>Single fatality</i>
8	Kebocoran pipa bawah laut ditinjau dari <i>environment</i>	<i>Failure expected</i>	<i>Major effect</i>
9	Kebocoran pipa bawah laut ditinjau dari <i>business</i>	<i>Failure expected</i>	<i>Major damage</i>

Dari tabel tersebut, dapat ditemukan apakah probabilitas dan atau konsekuensi yang menyebabkan terjadinya resiko yang harus dikendalikan.

#### **1. Kegagalan faktor eksternal ditinjau dari *safety*, *environment*, dan *business***

Pada resiko ini, probabilitas terjadinya besar dan dampak yang ditimbulkan atau konsekuensi terhadap keselamatan, lingkungan, dan bisnis juga besar. Untuk mengendalikan resiko tersebut diharuskan meningkatkan tingkat keselamatan, lingkungan, serta bisnis. Pada kegagalan pihak ketiga terjadi karena faktor pada **tabel 4.28** sebagai berikut;

**Tabel 4.26** Sebab-Akibat Kegagalan Faktor Eksternal

No	Akibat	Sebab	Frekuensi
1	Kegagalan faktor eksternal	• Intervensi pihak ketiga	0.0075406
		• Bencana Alam	0.00026266
		• Korosi	1.1125E-09

Dari hasil tersebut dapat kita ketahui penyebab dari kegagalan faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan korosi dengan probabilitas tertinggi disebabkan oleh intervensi pihak ketiga. Intervensi pihak ketiga terjadi karena adanya kelalaian dari *human error*. Untuk mengatasi hal tersebut perlu di perketat kembali *Standart Operasional Prosedure* dari suatu sistem dan tidak boleh terjadi kelalaian yang dilakukan oleh *user* dikarenakan tidak mengidahkan *SOP*. Untuk bencana alam dikarenakan dampaknya yang sangat besar maka perlu untuk membuat tempat pengungsian di daerah sekitar pengerjaan konstruksi pipa bawah laut dan mengaktifkan kembali sistem *Safety Induction* di awal sebelum melakukan kegiatan. Untuk korosi ada dua cara yang perlu diperhatikan yaitu dengan mempertebal *coating* dan menambahkan proteksi katodik.

## 2. Kegagalan faktor internal ditinjau dari *safety*, *environment*, dan *business*

Pada resiko ini, probabilitas terjadinya tinggi dan dampak yang ditimbulkan lumayan besar untuk *safety*, *environment*, dan *business*. Untuk mengendalikan resiko ini diharapkan dapat menekan tingkat probabilitas dan mengurangi tingkat konsekuensi pada bisnis.

**Tabel 4.27** Sebab-Akibat Kegagalan Faktor Internal

No	Akibat	Sebab	Frekuensi
1	Kegagalan Faktor Internal	• Cacat material	0.0005688
		• Cacat pengelasan	0.000523

- Cacat sistem pembantu 0.0052262

Pada kegagalan faktor internal, probabilitas terbesar ada pada cacat cacatnya sistem pembantu. Cacat pipa terjadi karena material yang jelek, pengelasan yang tidak sempurna, atau sistem-sistem pendukung lainnya yang masih kurang. Untuk mengatasi cacat pipa tentunya dengan memperkuat sistem inspeksi dan melakukan *Non-Destructive Test* secara menyeluruh agar kecacatan pipa dapat segera diatasi. Untuk mengatasi pengelasan yang buruk dibutuhkan tenaga yang ahli dalam pengelasan pipa bawah laut.

### 3. Kebocoran Pipa Bawah Laut

Pada resiko ini, probabilitas terjadinya sangat besar dan dampak yang ditimbulkan juga sangat besar untuk keselamatan, lingkungan, dan bisnis. Untuk mengendalikan resiko tersebut dibutuhkan penekanan tingkat probabilitas dan meningkatkan tingkat keselamatan, lingkungan, serta bisnis. Pada kegagalan karena kebocoran pipa bawah laut, terjadi karena faktor pada **tabel 4.28** sebagai berikut;

**Tabel 4.28** Sebab-Akibat Kegagalan karena Kebocoran Pipa Bawah Laut

No	Akibat	Sebab	Frekuensi
1	Kebocoran Pipa Bawah Laut	• Kegagalan faktor eksternal	0.0078033
		• Kegagalan faktor internal	0.006318

Dari hasil tersebut, dapat diketahui bahwa penyebab kegagalan karena kebocoran pipa bawah laut ialah karena kegagalan faktor eksternal, atau juga kegagalan faktor internal. Masing-masing memiliki peran tanpa keterkaitan untuk menyebabkan kegagalan karena kebocoran pipa bawah laut. Untuk mengendalikan resiko kegagalan karena kebocoran pipa bawah laut dikarenakan kegagalan faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana

alam, dan korosi dengan probabilitas tertinggi disebabkan oleh intervensi pihak ketiga. Intervensi pihak ketiga terjadi karena adanya kelalaian dari *human error*. Untuk mengatasi hal tersebut perlu di perketat kembali *Standart Operasional Prosedure* dari suatu sistem dan tidak boleh terjadi kelalaian yang dilakukan oleh *user* dikarenakan tidak mengidahkan *SOP*. Untuk bencana alam dikarenakan dampaknya yang sangat besar maka perlu untuk membuat tempat pengungsian di daerah sekitar pengerjaan konstruksi pipa bawah laut dan mengaktifkan kembali sistem *Safety Induction* di awal sebelum melakukan kegiatan. Untuk korosi ada dua cara yang perlu diperhatikan yaitu dengan mempertebal *coating* dan menambahkan proteksi katodik. Sedangkan untuk kegagalan dikarenakan faktor internal, probabilitas terbesar ada pada cacat cacatnya sistem pembantu. Cacat pipa terjadi karena material yang jelek, pengelasan yang tidak sempurna, atau sistem-sistem pendukung lainnya yang masih kurang. Untuk mengatasi cacat pipa tentunya dengan memperkuat sistem inspeksi dan melakukan *Non-Destructive Test* secara menyeluruh agar kecacatan pipa dapat segera diatasi. Untuk mengatasi pengelasan yang buruk dibutuhkan tenaga yang ahli dalam pengelasan pipa bawah laut.



(Halaman ini sengaja di kosongkan.)

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Pada Tugas Akhir ini ditemukan 2 *main event*, dari *top event* kebocoran pipa bawah laut yang dijadikan kejadian untuk menentukan probabilitas dan konsekuensi dari suatu kejadian. Untuk kegagalan faktor eksternal memiliki probabilitas *high*. Sedangkan konsekuensinya pada *safety single fatality* berada pada posisi merah, *environment major effect* berada pada posisi merah, *business major damage* berada pada posisi merah. Pada kegagalan faktor internal memiliki probabilitas *high*. Kegagalan faktor internal memiliki konsekuensi pada *business insignificant* berada pada kuning, *environment slight* berada pada kuning, dan *business slight* pada posisi kuning. *Top event* atau kegagalan karena kebocoran pipa bawah laut memiliki probabilitas *failure expected*. Kegagalan konstruksi pipa bawah laut memiliki konsekuensi pada *safety single fatality* berada pada posisi merah, *environment major effect* berada pada posisi merah, dan *business major damage* berada pada posisi merah.

penyebab kegagalan karena kebocoran pipa bawah laut ialah karena kegagalan faktor eksternal, atau juga kegagalan faktor internal. Masing-masing memiliki peran tanpa keterkaitan untuk menyebabkan kegagalan karena kebocoran pipa bawah laut.

Untuk mengendalikan resiko kegagalan karena kebocoran pipa bawah laut dikarenakan kegagalan faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan korosi dengan probabilitas tertinggi disebabkan oleh intervensi pihak ketiga. Intervensi pihak ketiga terjadi karena adanya kelalaian dari *human error*. Untuk mengatasi hal tersebut perlu di perketat kembali *Standart Operasional Prosedure* dari suatu sistem dan tidak boleh terjadi kelalaian yang dilakukan oleh *user* dikarenakan tidak mengidahkan *SOP*. Untuk bencana alam dikarenakan dampaknya yang sangat besar maka perlu untuk membuat tempat pengungsian di daerah sekitar pengerjaan konstruksi pipa bawah laut dan mengaktifkan kembali sistem *Safety Induction* di awal sebelum melakukan kegiatan. Untuk korosi ada dua cara yang perlu diperhatikan yaitu dengan mempertebal *coating* dan menambahkan proteksi katodik.

Sedangkan untuk kegagalan dikarenakan faktor internal, probabilitas terbesar ada pada cacat cacatnya sistem pembantu. Cacat pipa terjadi karena material yang

jelek, pengelasan yang tidak sempurna, atau sistem-sistem pendukung lainnya yang masih kurang. Untuk mengatasi cacat pipa tentunya dengan memperkuat sistem inspeksi dan melakukan *Non-Destructive Test* secara menyeluruh agar kecacatan pipa dapat segera diatasi. Untuk mengatasi pengelasan yang buruk dibutuhkan tenaga yang ahli dalam pengelasan pipa bawah laut.

## **5.2 Saran**

Pada tugas akhir yang berjudul Analisa Resiko pada Kebocoran Pipa Bawah Laut dengan Metode *Hybrid Risk Analysis* ini kedepannya diharapkan bisa dilanjutkan kembali dengan menspesifikkan kejadian dan dicari berapa resiko yang harus diterima dari kejadian tersebut baik itu dari *cost control* maupun *time domain*. Dan harapannya juga kedepan untuk *Hybrid Risk Analysis* juga bisa diperinci baik di probabilitas maupun pada konsekuensi resiko.

## DAFTAR PUSTAKA

- Wells, Tumbridge dan Kent. 2004. **Offshore Pipeline Construction Volume Conceptual Design and Hydromechanics**. Trevor Jee Associates. England.
- Brewer, W.V dan Dixon, D.A 1969. **Influence of Lay Barge Motion On a Deep Water Pipeline Laid and Tension**. Offshore Technologi Conference. Texas.
- Hashem, Abdel-Alim. 2009. **Oil and Gas Pipeline Design, Maintenance and Repair**. Cairo University.Cairo.
- Bai, Y. 2001. **Pipeline and Riser Volume 3**. Elsevier Science, ltd. UK
- Guo, B. 2005. **Offshore Pipelines**. Gulf Professional Publishing. Elsevier Science, ltd. Oxford.
- Merrit, James. 1998. **a Method for Quantitatives Risk Analysis**. CISSP. Indianapolis: USA.
- Hu, Xianwei. 2012. **Risk and reliability analysis of deepwater reel-lay installation: a scenario study of pipeline during the process of tensioning**. Scientific Research. China.
- Li, Jun. 2016. **Study on Failure of Third Party Damage for Urban Gas Pipeline Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation**. CrossMark. China.
- Shan, Xian. 2017. **Risk Analysis on Leakage Failure of Natural Gas Pipelines by Fuzzy Bayesian Network with Bow-Tie Model**. Hindawi. China.
- Fox, Carol. 2009. **Methods for Assessing Risk**. The Risk Management Society. Australia.
- Syarifudin, I. 2007. **Analisa Tegangan Pipa Bawah Laut Karena Gerakan Barge Berdasarkan Time Domain Saat Laying**. Jurusan Teknik Kelautan – FTK – ITS. Surabaya.
- Gazali. 2009. **Pengaruh Kedalaman Laut dan Dimensi Pipa Terhadap Instalasi Pipa Bawah Laut dengan Metode J-Lay**. Jurusan Teknik Kelautan – FTK – ITS. Surabaya.

**Purnama. A. Analisa Tegangan Pipa Bawah Laut Pada Proses Instalasi Akibat Gerakan Lay-barge Menggunakan Metode S-lay.** Jurusan Teknik Kelautan – FTK–ITS. Surabaya.

(Halaman ini sengaja di kosongkan.)

## **LAMPIRAN**

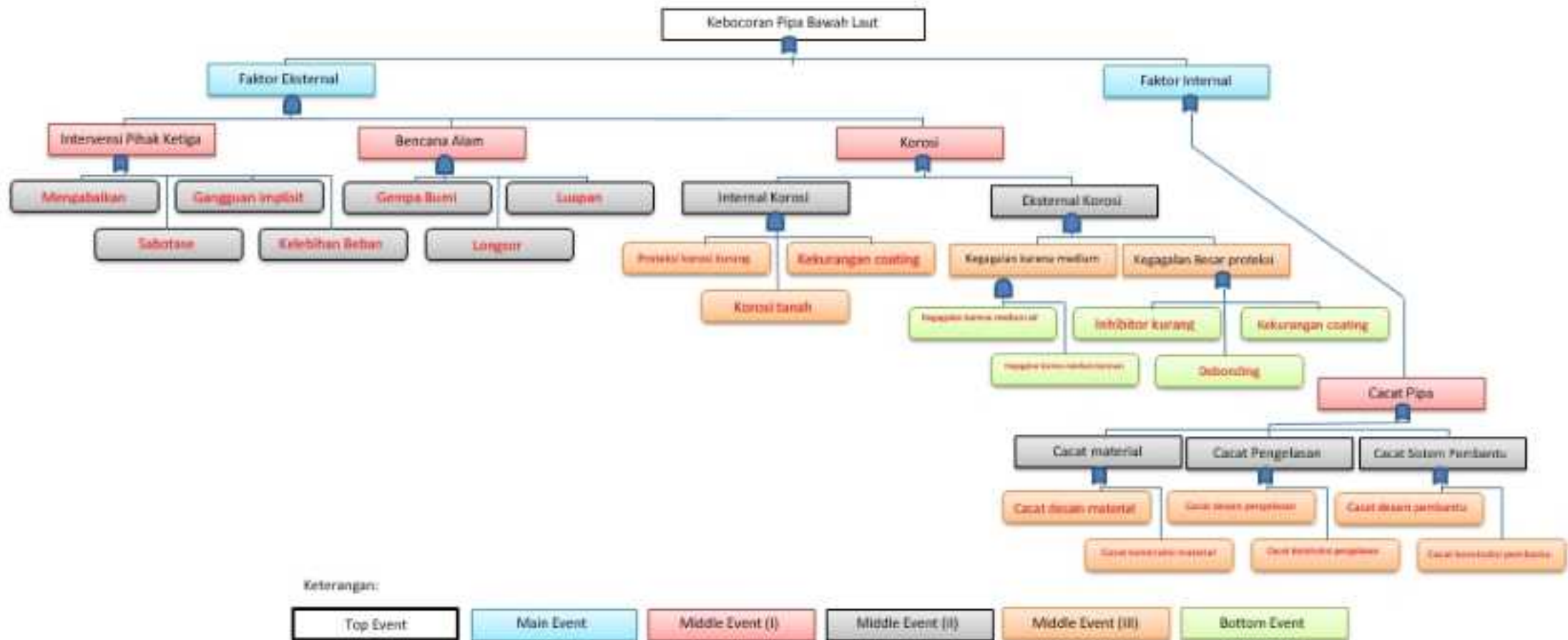
(Halaman ini sengaja di kosongkan.)

**LAMPIRAN A**  
***FAULT TREE ANALYSIS***



(Halaman ini sengaja di kosongkan.)

# FAULT TREE ANALYSIS KEGAGALAN KONSTRUKSI PIPA BAWAH LAUT



Keterangan:



Event yang tulisannya berwarna merah merupakan Basic Event



**LAMPIRAN B**  
**MENGHITUNG FREKUENSI**

(Halaman ini sengaja di kosongkan.)

## DATA FREKUENSI PADA BASIC EVENT

### Frekuensi Kejadian Fault Tree Analysis

No	Basic Event	Frequency	Sumber Data
4,1	Adanya pihak yang mengabaikan peringatan	0.0035	SAM-Scientific Programming
4,2	Adanya gangguan mutlak dari peringatan	0.0021	SAM-Scientific Programming
4,3	Adanya sabotase	0.0019	SAM-Scientific Programming
4,4	Adanya kelebihan beban	0.0000406	SAM-Scientific Programming
5,1	Gempa bumi	0.00000566	SAM-Scientific Programming
5,2	Terjadinya luapan	0.000116	SAM-Scientific Programming
5,3	Terjadinya penurunan	0.000141	SAM-Scientific Programming
6,1	Cacat desain material	0.0000888	SAM-Scientific Programming
6,2	Cacat konstruksi material	0.00048	SAM-Scientific Programming
7,1	Cacat desain pengelasan	0.000245	SAM-Scientific Programming
7,2	Cacat konstruksi pengelasan	0.000278	SAM-Scientific Programming
8,1	Cacat desain pembantu	0.0000262	SAM-Scientific Programming
8,2	Cacat konstruksi pembantu	0.0052	SAM-Scientific Programming
9,1	Kegagalan karena proteksi korosi	0.000278	SAM-Scientific Programming
9,2	Kegagalan karena coating	0.000296	SAM-Scientific Programming
9,3	Kegagalan karena korosi tanah	0.0117	SAM-Scientific Programming
11, 1	Kegagalan karena medium air	0.00048	SAM-Scientific Programming
11, 2	kegagalan karena medium bantuan	0.000296	SAM-Scientific Programming
12, 1	Kegagalan karena inhibitor	0.00048	SAM-Scientific Programming
12, 2	Kegagalan karena coating	0.000296	SAM-Scientific Programming

12, 3	Kegagalan karena debonding	0.000278	SAM-Scientific Programming
13	Deformasi plastis Pipa Bawah Laut	0.0013	Scientific Research

### MENGHITUNG FREKUENSI KEJADIAN

#### Boolean Equation AND Logic

$$A' = A \times B \times \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Kegagalan karena medium air	0.00048	AND	Medium	1.4208E-07
kegagalan karena medium bantuan	0.000296			

#### Boolean Equation OR Logic

$$A' = A + B + \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Kegagalan karena inhibitor	0.00048	OR	Besaran proteksi	0.001054
Kegagalan karena coating	0.000296			
Kegagalan karena debonding	0.000278			

#### Boolean Equation OR Logic

$$A' = A + B + \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Cacat desain material	0.0000888	OR	Material	0.0005688
Cacat konstruksi material	0.00048			

#### Boolean Equation OR Logic

$$A' = A + B + \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Cacat desain pengelasan	0.000245	OR	Pengelasan	0.000523
Cacat konstruksi pengelasan	0.000278			

#### Boolean Equation OR Logic

$$A' = A + B + \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Cacat desain pembantu	0.0000262	OR	Sistem pembantu	0.0052262
Cacat konstruksi pembantu	0.0052			

Boolean Equation AND Logic

$$A' = A \times B \times \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Kegagalan karena proteksi korosi	0.000278	AND	Internal korosi	9.6277E-10
Kegagalan karena coating	0.000296			
Kegagalan karena korosi tanah	0.0117			

Boolean Equation AND Logic

$$A' = A \times B \times \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Medium	1.4208E-07	AND	Eksternal korosi	1.49752E-10
Besaran proteksi	0.001054			

Boolean Equation OR Logic

$$A' = A + B + \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Adanya pihak yang mengabaikan peringatan	0.0035	OR	Intervensi pihak ketiga	0.0075406
Adanya gangguan mutlak dari peringatan	0.0021			
Adanya sabotase	0.0019			
Adanya kelebihan beban	0.0000406			

Boolean Equation OR Logic

$$A' = A + B + \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*



Gempa bumi	0.00000566	OR	Bencana alam	0.00026266
Terjadinya luapan	0.000116			
Terjadinya penurunan	0.000141			

Boolean Equation OR Logic

$$A' = A + B + \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Material	0.0005688	OR	Cacat Pipa	0.006318
Pengelasan	0.000523			
Sistem pembantu	0.0052262			

Boolean Equation OR Logic

$$A' = A + B + \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Internal korosi	9.6277E-10	OR	Korosi	1.11252E-09
Eksternal korosi	1.49752E-10			

Boolean Equation AND Logic

$$A' = A \times B \times \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Intervensi pihak ketiga	0.0075406	AND	Kegagalan pihak ketiga	1.98061E-06
Bencana alam	0.00026266			

Boolean Equation OR Logic

$$A' = A + B + \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Cacat Pipa	0.006318	OR	Kegagalan manajemen	7.02891E-12
Korosi	1.11252E-09			

Boolean Equation OR Logic

$$A' = A + B + \dots$$

$A'$  = Hasil *AND Logic Event*

$A$  = *Event A*

$B$  = *Event B*

Kegagalan pihak ketiga	1.98061E-06	OR	Kegagalan pipa bawah laut	0.001301981
Kegagalan manajemen	7.02891E-12			
Deformasi plastis Pipa Bawah Laut	0.0013			

(Halaman ini sengaja di kosngkan.)

**LAMPIRAN C**  
**MENGHITUNG KONSEKUENSI**

## HASIL KUISIONER

No	Responden	Kegagalan Manajemen		
		Safety	Environment	Business
1	Zelfi Arifiandi	2	3	2
2	Osman Azka	1	2	2
3	Achmad Chamsudi	2	2	2
4	Dian Pasha	2	2	2
5	Agung Nugroho	2	3	3
6	Hamid Bayagub	1	2	2
7	Zen Zubaidi	2	2	2
8	Dio Tri Agysta	1	3	2
9	Bambang Hertanto	1	3	3
10	Budi Irawan	1	2	2

No	Responden	Kegagalan Pihak Ketiga		
		Safety	Environment	Business
1	Zelfi Arifiandi	5	5	5
2	Osman Azka	5	4	4
3	Achmad Chamsudi	4	4	5
4	Dian Pasha	4	4	5
5	Agung Nugroho	4	5	4
6	Hamid Bayagub	5	3	4
7	Zen Zubaidi	5	5	5
8	Dio Tri Agysta	4	4	5
9	Bambang Hertanto	5	5	5
10	Budi Irawan	5	4	5

No	Responden	Deformasi Plastis		
		Safety	Environment	Business
1	Zelfi Arifiandi	2	1	2
2	Osman Azka	1	2	2
3	Achmad Chamsudi	2	1	2
4	Dian Pasha	1	1	3
5	Agung Nugroho	1	1	3
6	Hamid Bayagub	2	2	2
7	Zen Zubaidi	1	2	2
8	Dio Tri Agysta	2	1	2
9	Bambang Hertanto	1	1	2

10	Budi Irawan	2	2	2
----	-------------	---	---	---

No	Responden	Kegagalan Konstruksi Pipa Bawah Laut		
		Safety	Environment	Business
1	Zelfi Arifiandi	3	3	3
2	Osman Azka	3	2	3
3	Achmad Chamsudi	2	3	3
4	Dian Pasha	3	3	2
5	Agung Nugroho	2	3	3
6	Hamid Bayagub	2	2	3
7	Zen Zubaidi	3	3	2
8	Dio Tri Agysta	3	2	2
9	Bambang Hertanto	3	2	3
10	Budi Irawan	2	3	3

#### MEAN KONSEKUENSI

Kegagalan Manajemen		
Safety	Environment	Business
1.5	2.4	2.2

Kegagalan Pihak Ketiga		
Safety	Environment	Business
4.6	4.3	4.7

Deformasi Plastis		
Safety	Environment	Business
1.5	1.4	2.2

Kegagalan Konstruksi Pipa Bawah Laut		
Safety	Environment	Business
2.6	2.6	2.7

(Halaman ini sengaja di kosongkan.)

**LAMPIRAN D**  
**MENENENTUKAN POSISI RESIKO**



(Halaman ini sengaja di kosongkan.)

### HASIL RESIKO

No	Kasus	Probabilitas	Konsekuensi		
			Safety	Environment	Business
1	Kegagalan Manajemen	7.E-12	1.5	2.4	2.2
2	Kegagalan Pihak Ketiga	2.E-06	4.6	4.3	4.7
3	Deformasi Plastis	1.E-03	1.5	1.4	2.2
4	Kegagalan Konstruksi Pipa Bawah Laut	1.E-03	2.6	2.6	2.7

### POSISI PADA MATRIKS RESIKO

No	Kasus	Resiko		
		Safety	Environment	Business
1	Kegagalan Manajemen	Green	Green	Green
2	Kegagalan Pihak Ketiga	Yellow	Yellow	Yellow
3	Deformasi Plastis	Green	Green	Yellow
4	Kegagalan Konstruksi Pipa Bawah Laut	Yellow	Yellow	Yellow

(Halaman ini sengaja di kosngkan.)

\

**LAMPIRAN E**  
**HASIL KUISIONER**

(Halaman ini sengaja di kosongkan.)



**MATRIKS RESIKO**  
**DNV RPG101**

Concequency		A	B	C	D	E
<i>Probability</i>	$> 10^{-2}$	Yellow	Red	Red	Red	Red
	$10^{-3}$ to $10^{-2}$	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	$10^{-4}$ to $10^{-3}$	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	$10^{-5}$ to $10^{-4}$	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	$< 10^{-5}$	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

<b>Tipe Dampak</b>	<b>Safety</b>	Tidak terjadi kecelakaan	Terjadi kecelakaan sehingga absen kerja selama < 2 hari	Terjadi kecelakaan sehingga absen kerja selama > 2 hari	Terjadi kecelakaan sehingga ada 1 korban jiwa	Terjadi kecelakaan sehingga banyak korban jiwa
	<b>Environment</b>	Tidak terjadi polusi	Terjadi polusi dan dapat dibersihkan dengan mudah	Terjadi polusi sehingga membutuhkan 1 minggu untuk dibersihkan	Terjadi polusi dan berdampak terhadap ekosistem lingkungan	Terjadi polusi sehingga menyebabkan kerusakan besar terhadap lingkungan
	<b>Business</b>	Tidak membutuhkan perbaikan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1x pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 4x pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1 bulan pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1 tahun pengerjaan





**KUISIONER PENELITIAN TUGAS AKHIR**  
**ANALISA RESIKO PADA KONSTRUKSI PIPA BAWAH LAUT DENGAN**  
**METODE *HYBRID RISK ANALYSIS***

**Bassam Muhammad Drehem / S1 Teknik Kelautan ITS Surabaya**

Assalamualaikum Wr. Wb.

Perkenalkan, nama saya Bassam Muhammad Drehem yang saat ini berkuliah di Departemen Teknik Kelautan ITS. Pada kesempatan ini, ijin saya sedikit mengganggu waktu Bapak/Ibu/Saudara sekalian untuk menyempatkan mengisi kuisisioner saya untuk membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir saya. Dalam rangka penelitian Tugas Akhir saya yang berjudul "Analisa Resiko pada Konstruksi Pipa Bawah Laut dengan Metode *Hybrid Risk Analysis*". Kuisisioner ini berkaitan dengan tingkatan dampak daripada kejadian yang terjadi saat konstruksi tersebut ditinjau sesuai dengan faktor safety, environment, dan business yang tercantum pada Codes DNV RPG101. Terimakasih atas waktu yang telah Bapak/Ibu/Saudara luangkan. Kurang lebihnya mohon maaf.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Tanggal Pengisian : 22 Juni 2017  
Nama : Bambang Hertanto  
Jabatan : Welder  
Lama Bekerja : 2 tahun  
Gelar Pendidikan : Amd

**Kriteria Pemilihan Jawaban:**

Untuk menjawab pertanyaan dibawah ini, responden dapat memilih jawaban yang telah disesuaikan dengan indikator pada matriks resiko yang sudah disediakan pada lembar sebelumnya dengan mencentang (✓) pilihan A, B, C, D, atau E. Terimakasih atas partisipasinya.

**Pertanyaan:**

**Main Event (Kegagalan Manajemen):**



1. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kegagalan manajemen dikarenakan kecacatan pada pipa bawah laut dan korosi ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☒ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

2. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kegagalan manajemen dikarenakan kecacatan pada pipa bawah laut dan korosi ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E

3. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kegagalan manajemen dikarenakan kecacatan pada pipa bawah laut dan korosi ditinjau dari aspek business (biaya)?

☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E

**Main Event (Kegagalan karena Pihak Ketiga):**

4. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kegagalan pihak ketiga dikarenakan adanya intervensi dan bencana alam pada pipa bawah laut ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E

5. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kegagalan pihak ketiga dikarenakan adanya intervensi dan bencana alam pada pipa bawah laut ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E

6. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kegagalan pihak ketiga dikarenakan adanya intervensi dan bencana alam pada pipa bawah laut ditinjau dari aspek business (biaya)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E

**Main Event (Deformasi Plastis):**

7. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kejadian deformasi plastis pada pipa bawah laut ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☒ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

8. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kejadian deformasi plastis pada pipa bawah laut ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☒ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

9. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kejadian deformasi plastis pada pipa bawah laut ditinjau dari aspek business (biaya)?

☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E



**Top Event (Kegagalan Konstruksi Pipa Bawah Laut):**

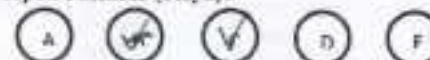
10. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kegagalan konstruksi pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan manajemen, kegagalan pihak ketiga, dan deformasi plastis ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?



11. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kegagalan konstruksi pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan manajemen, kegagalan pihak ketiga, dan deformasi plastis ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?



12. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kegagalan konstruksi pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan manajemen, kegagalan pihak ketiga, dan deformasi plastis ditinjau dari aspek business (biaya)?





# MATRIKS RESIKO

DNV RPG101

Concequency		A	B	C	D	E
Probability	$> 10^{-2}$	Yellow	Red	Red	Red	Red
	$10^{-3} \text{ to } 10^{-2}$	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	$10^{-4} \text{ to } 10^{-3}$	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	$10^{-5} \text{ to } 10^{-4}$	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	$< 10^{-5}$	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

Tipe Dampak	Safety	Tidak terjadi kecelakaan	Terjadi kecelakaan sehingga absen kerja selama $< 2$ hari	Terjadi kecelakaan sehingga absen kerja selama $> 2$ hari	Terjadi kecelakaan sehingga ada 1 korban jiwa	Terjadi kecelakaan sehingga banyak korban jiwa
	Environment	Tidak terjadi polusi	Terjadi polusi dan dapat dibersihkan dengan mudah	Terjadi polusi sehingga membutuhkan 1 minggu untuk dibersihkan	Terjadi polusi dan berdampak terhadap ekosistem lingkungan	Terjadi polusi sehingga menyebabkan kerusakan besar terhadap lingkungan
	Business	Tidak membutuhkan perbaikan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1x pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 4x pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1 bulan pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1 tahun pengerjaan






**KUISIONER PENELITIAN TUGAS AKHIR**  
**ANALISA RESIKO PADA KEBOCORAN PIPA BAWAH LAUT DENGAN METODE**  
**HYBRID RISK ANALYSIS**

**Bassam Muhammad Drehem / S1 Teknik Kelautan ITS Surabaya**

Assalamualaikum Wr. Wb.

Perkenalkan, nama saya Bassam Muhammad Drehem yang saat ini berkuliah di Departemen Teknik Kelautan ITS. Pada kesempatan ini, ijin saya sedikit mengganggu waktu Bapak/Ibu/Saudara sekalian untuk menyempatkan mengisi kuisisioner saya untuk membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir saya. Dalam rangka penelitian Tugas Akhir saya yang berjudul "Analisa Resiko pada Kebocoran Pipa Bawah Laut dengan Metode *Hybrid Risk Analysis*". Kuisisioner ini berkaitan dengan tingkatan dampak daripada kejadian yang terjadi saat kebocoran tersebut ditinjau sesuai dengan faktor safety, environment, dan business yang tercantum pada Codes DNV RPG101. Terimakasih atas waktu yang telah Bapak/Ibu/Saudara luangkan. Kurang lebihnya mohon maaf.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Tanggal Pengisian	:	Nathad Amalia	
Nama	:	26 Juli 2017	
Lama Bekerja	:	1 tahun	
Gelar Pendidikan	:	S.T.	

**Kriteria Pemilihan Jawaban:**

Untuk menjawab pertanyaan dibawah ini, responden dapat memilih jawaban yang telah disesuaikan dengan indikator pada matriks resiko yang sudah disediakan pada lembar sebelumnya dengan mencentang (✓) pilihan A, B, C, D, atau E. Terimakasih atas partisipasinya.

**Pertanyaan:**

**Main Event (Kebocoran Pipa Bawah Laut karena Faktor Eksternal):**



1. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E

2. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E

3. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E

**Main Event (Kebocoran Pipa Bawah Laut karena Faktor Internal):**

4. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E

5. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E

6. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E

**Top Event (Kegagalan Kebocoran Pipa Bawah Laut):**

7. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E



8. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E

9. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E



**MATRIKS RESIKO**  
**DNV RPG101**

Concequency		A	B	C	D	E
<i>Probability</i>	$> 10^{-2}$	Yellow	Red	Red	Red	Red
	$10^{-3}$ to $10^{-2}$	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	$10^{-4}$ to $10^{-3}$	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	$10^{-5}$ to $10^{-4}$	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	$< 10^{-5}$	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

<b>Tipe Dampak</b>	<b>Safety</b>	Tidak terjadi kecelakaan	Terjadi kecelakaan sehingga absen kerja selama $< 2$ hari	Terjadi kecelakaan sehingga absen kerja selama $> 2$ hari	Terjadi kecelakaan sehingga ada 1 korban jiwa	Terjadi kecelakaan sehingga banyak korban jiwa
	<b>Environment</b>	Tidak terjadi polusi	Terjadi polusi dan dapat dibersihkan dengan mudah	Terjadi polusi sehingga membutuhkan 1 minggu untuk dibersihkan	Terjadi polusi dan berdampak terhadap ekosistem lingkungan	Terjadi polusi sehingga menyebabkan kerusakan besar terhadap lingkungan
	<b>Business</b>	Tidak membutuhkan perbaikan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1x pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 4x pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1 bulan pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1 tahun pengerjaan





**KUISIONER PENELITIAN TUGAS AKHIR**  
**ANALISA RESIKO PADA KEBOCORAN PIPA BAWAH LAUT DENGAN METODE**  
**HYBRID RISK ANALYSIS**

**Bassam Muhammad Drehem / S1 Teknik Kelautan ITS Surabaya**

Assalamualaikum Wr. Wb.

Perkenalkan, nama saya Bassam Muhammad Drehem yang saat ini berkuliah di Departemen Teknik Kelautan ITS. Pada kesempatan ini, izinkan saya sedikit mengganggu waktu Bapak/Ibu/Saudara sekalian untuk menyempatkan mengisi kuisisioner saya untuk membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir saya. Dalam rangka penelitian Tugas Akhir saya yang berjudul "Analisa Resiko pada Kebocoran Pipa Bawah Laut dengan Metode *Hybrid Risk Analysis*". Kuisisioner ini berkaitan dengan tingkatan dampak daripada kejadian yang terjadi saat kebocoran tersebut ditinjau sesuai dengan faktor safety, environment, dan business yang tercantum pada Codes DNV RPI101. Terimakasih atas waktu yang telah Bapak/Ibu/Saudara luangkan. Kurang lebihnya mohon maaf.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Tanggal Pengisian : 26 Juli 2017  
Nama : Reza Eka  
Lama Bekerja : 2 thn.  
Gelar Pendidikan : S.T



**Kriteria Pemilihan Jawaban:**

Untuk menjawab pertanyaan dibawah ini, responden dapat memilih jawaban yang telah disesuaikan dengan indikator pada matriks resiko yang sudah disediakan pada lembar sebelumnya dengan mencentang (✓) pilihan A, B, C, D, atau E. Terimakasih atas partisipasinya.

**Pertanyaan:**

**Main Event (Kebocoran Pipa Bawah Laut karena Faktor Eksternal):**



1. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E

2. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E

3. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E

**Main Event (Kebocoran Pipa Bawah Laut karena Faktor Internal):**

4. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E

5. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E

6. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E

**Top Event (Kegagalan Kebocoran Pipa Bawah Laut):**

7. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E



8. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E

9. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E



**MATRIKS RESIKO  
DNV RPG101**

Concequency		A	B	C	D	E
<i>Probability</i>	$> 10^{-2}$	Yellow	Red	Red	Red	Red
	$10^{-3}$ to $10^{-2}$	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	$10^{-4}$ to $10^{-3}$	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	$10^{-5}$ to $10^{-4}$	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	$< 10^{-5}$	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

<b>Tipe Dampak</b>	<b>Safety</b>	Tidak terjadi kecelakaan	Terjadi kecelakaan sehingga absen kerja selama $< 2$ hari	Terjadi kecelakaan sehingga absen kerja selama $> 2$ hari	Terjadi kecelakaan sehingga ada 1 korban jiwa	Terjadi kecelakaan sehingga banyak korban jiwa
	<b>Environment</b>	Tidak terjadi polusi	Terjadi polusi dan dapat dibersihkan dengan mudah	Terjadi polusi sehingga membutuhkan 1 minggu untuk dibersihkan	Terjadi polusi dan berdampak terhadap ekosistem lingkungan	Terjadi polusi sehingga menyebabkan kerusakan besar terhadap lingkungan
	<b>Business</b>	Tidak membutuhkan perbaikan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1x pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 4x pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1 bulan pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1 tahun pengerjaan





**KUISIONER PENELITIAN TUGAS AKHIR**  
**ANALISA RESIKO PADA KEBOCORAN PIPA BAWAH LAUT DENGAN METODE**  
**HYBRID RISK ANALYSIS**


**Bassam Muhammad Drehem / S1 Teknik Kelautan ITS Surabaya**

Assalamualaikum Wr. Wb.

Perkenalkan, nama saya Bassam Muhammad Drehem yang saat ini berkuliah di Departemen Teknik Kelautan ITS. Pada kesempatan ini, ijin saya sedikit mengganggu waktu Bapak/Ibu/Saudara sekalian untuk menyempatkan mengisi kuisisioner saya untuk membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir saya. Dalam rangka penelitian Tugas Akhir saya yang berjudul "Analisa Resiko pada Kebocoran Pipa Bawah Laut dengan Metode *Hybrid Risk Analysis*". Kuisisioner ini berkaitan dengan tingkatan dampak daripada kejadian yang terjadi saat kebocoran tersebut ditinjau sesuai dengan faktor safety, environment, dan business yang tercantum pada Codes DNV RPG101. Terimakasih atas waktu yang telah Bapak/Ibu/Saudara luangkan. Kurang lebihnya mohon maaf.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Tanggal Pengisian : Trt Budi Prabhono  
Nama : 26 - 6 - 17  
Lama Bekerja : 5 Tahun  
Gelara Pendidikan : ST



**Kriteria Pemilihan Jawaban:**

Untuk menjawab pertanyaan dibawah ini, responden dapat memilih jawaban yang telah disesuaikan dengan indikator pada matriks resiko yang sudah disediakan pada lembar sebelumnya dengan mencentang (✓) pilihan A, B, C, D, atau E. Terimakasih atas partisipasinya.

**Pertanyaan:**

**Main Event (Kebocoran Pipa Bawah Laut karena Faktor Eksternal):**



1. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E

2. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E

3. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E

**Main Event (Kebocoran Pipa Bawah Laut karena Faktor Internal):**

4. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E

5. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E

6. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E

**Top Event (Kegagalan Kebocoran Pipa Bawah Laut):**

7. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E



8. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E

9. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E



**MATRIKS RESIKO**  
**DNV RPG101**

Concequency		A	B	C	D	E
<i>Probability</i>	$> 10^{-2}$	Yellow	Red	Red	Red	Red
	$10^{-3}$ to $10^{-2}$	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	$10^{-4}$ to $10^{-3}$	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
	$10^{-5}$ to $10^{-4}$	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	$< 10^{-5}$	Green	Green	Green	Yellow	Yellow

<b>Tipe Dampak</b>	<b>Safety</b>	Tidak terjadi kecelakaan	Terjadi kecelakaan sehingga absen kerja selama $< 2$ hari	Terjadi kecelakaan sehingga absen kerja selama $> 2$ hari	Terjadi kecelakaan sehingga ada 1 korban jiwa	Terjadi kecelakaan sehingga banyak korban jiwa
	<b>Environment</b>	Tidak terjadi polusi	Terjadi polusi dan dapat dibersihkan dengan mudah	Terjadi polusi sehingga membutuhkan 1 minggu untuk dibersihkan	Terjadi polusi dan berdampak terhadap ekosistem lingkungan	Terjadi polusi sehingga menyebabkan kerusakan besar terhadap lingkungan
	<b>Business</b>	Tidak membutuhkan perbaikan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1x pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 4x pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1 bulan pengerjaan	Membutuhkan perbaikan dengan biaya 1 tahun pengerjaan





**KUISIONER PENELITIAN TUGAS AKHIR**  
**ANALISA RESIKO PADA KEBOCORAN PIPA BAWAH LAUT DENGAN METODE**  
**HYBRID RISK ANALYSIS**

**Bassam Muhammad Drehem / S1 Teknik Kelautan ITS Surabaya**

Assalamualaikum Wr. Wb.

Perkenalkan, nama saya Bassam Muhammad Drehem yang saat ini berkuliah di Departemen Teknik Kelautan ITS. Pada kesempatan ini, ijin saya sedikit mengganggu waktu Bapak/Ibu/Saudara sekalian untuk menyempatkan mengisi kuisisioner saya untuk membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir saya. Dalam rangka penelitian Tugas Akhir saya yang berjudul "Analisa Resiko pada Kebocoran Pipa Bawah Laut dengan Metode *Hybrid Risk Analysis*". Kuisisioner ini berkaitan dengan tingkatan dampak daripada kejadian yang terjadi saat kebocoran tersebut ditinjau sesuai dengan faktor safety, environment, dan business yang tercantum pada Codes DNV RP101. Terimakasih atas waktu yang telah Bapak/Ibu/Saudara luangkan. Kurang lebihnya mohon maaf.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Tanggal Pengisian : 26-6-2017  
Nama : Zulhan Andre  
Lama Bekerja : 3 tahun  
Gelara Pendidikan : S.T & M.T



**Kriteria Pemilihan Jawaban:**

Untuk menjawab pertanyaan dibawah ini, responden dapat memilih jawaban yang telah disesuaikan dengan indikator pada matriks resiko yang sudah disediakan pada lembar sebelumnya dengan mencentang (✓) pilihan A, B, C, D, atau E. Terimakasih atas partisipasinya.

**Pertanyaan:**

**Main Event (Kebocoran Pipa Bawah Laut karena Faktor Eksternal):**



1. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E

2. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☒ E

3. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor eksternal dikarenakan adanya intervensi pihak ketiga, bencana alam, dan juga korosi ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E

**Main Event (Kebocoran Pipa Bawah Laut karena Faktor Internal):**

4. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☒ A ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

5. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E

6. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut karena faktor internal dikarenakan adanya cacat pada material, pengelasan, juga sistem pembantu ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E

**Top Event (Kegagalan Kebocoran Pipa Bawah Laut):**

7. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek safety (keselamatan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E



8. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek environment (lingkungan)?

☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒

9. Bagaimana tingkat konsekuensi pada kebocoran pipa bawah laut dikarenakan adanya kegagalan dikarenakan faktor internal, dan juga kegagalan dikarenakan faktor eksternal ditinjau dari aspek business (bisnis)?

☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E

## BIODATA PENULIS



Bassam Muhammad Drehem lahir di kota Situbondo pada tanggal 17 Oktober 1994. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Al Hikmah Surabaya, SMP Al Hikmah Surabaya, hingga SMA Al Hikmah Surabaya. Setelah lulus dari sekolah menengah, penulis melanjutkan pendidikannya di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama di bangku perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi sebagai Ketua Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan FTK ITS periode 2015/2016 dan dilanjutkan menjadi Menteri Pengembangan Sumber Daya Mahasiswa di Badan Eksekutif Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selain itu, penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan sosial dan kepanitiaan terkhusus pada bidang kelautan dan perminyakan. Pada tahun 2016, penulis mendapatkan kesempatan kerja praktek di PT. Rekayasa Industri di bidang *Pipe Stress Engineer* selama dua bulan. Selama masa studi Strata 1 yang ditempuh dalam waktu 4 tahun, penulis tertarik pada bidang manajemen dan produksi bangunan lepas pantai. Sehingga dalam mata kuliah Tugas Akhir ini, penulis mengambil topik tentang analisa resiko dari pipa bawah laut. Tugas Akhir ini dilakukan dengan metode analitis dan numerik.

Email: [bassamdrehem3@gmail.com](mailto:bassamdrehem3@gmail.com)